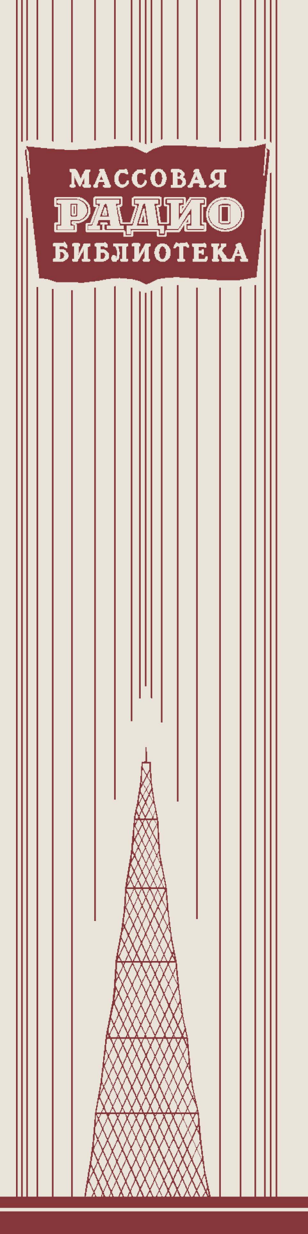


Н. М. ИЗЮМОВ

РАДИОРЕЛЕЙНАЯ СВЯЗЬ



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

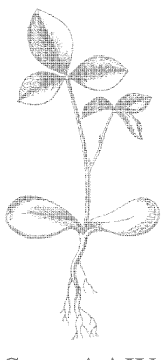
1954

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 210

Н. М. ИЗЮМОВ

РАДИОРЕЛЕЙНАЯ СВЯЗЬ





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1954 ЛЕНИНГРАД

В книге излагаются назначение, принципы работы и основные схемы радиорелейной связи, открывающей широкие возможности развития междугородных телефонных связей, а также перспективы обмена телевизионными программами между городами. Изложение материала книги рассчитано на подготовленного радиолюбителя.

Автор *Изюмов Николай Михайлович* „Радиорелейная связь"

Редактор *А. А. Куликовский* Техн. редактор *Г. Е. Ларионов*

Сдано в пр-во 25/VI 1954 г. Подписано к печати 3/XI 1954 г.

Бумага 84×108[1]/32 5,33 п. л. Уч.-изд. л 6,2

Т-07788 Тираж 15 000 Цена 2 р. 50 к. Зак. 1312

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ВВЕДЕНИЕ

В директивах XIX съезда Коммунистической партии Советского Союза по пятому пятилетнему плану выражены пути обеспечения максимального удовлетворения постоянно растущих материальных и культурных потребностей нашего народа. Основу этого плана составляют непрерывный рост и совершенствование социалистического производства на базе высшей техники.

Значение высшей техники в деле построения коммунистического общества огромно. Высшая техника — это система совершенных орудий труда, прилагаемых советскими людьми для использования богатств природы в целях расширения производства продукции и улучшения условий жизни общества. Среди бурно развивающихся отраслей техники одно из видных мест занимает радиотехника. Прогрессивные направления в радиотехнике, ее основные звенья, развитие которых ставит нашу науку на первое место в мире, указаны в решениях XIX съезда партии. В числе прогрессивных задач радиотехники директивами съезда поставлена задача внедрения радиорелейной связи.

Радиорелейные линии открывают широчайшие возможности развития междугородных телефонных связей, а также перспективы обмена телевизионными программами между городами.

Советская наука и промышленность, опираясь на помощь и заботу Коммунистической партии и Советского правительства, должны создавать совершенные конструкции радиорелейной аппаратуры, обеспечивать ее серийное производство, вводить в эксплуатацию новые радиолинии, выполняя тем самым почетную задачу, поставленную нашей партией.

Принципы радиорелейной связи были разработаны нашими соотечественниками, учениками и продолжателями дела изобретателя радио А. С. Попова.

Член-корр. АН СССР, изобретатель телефонной трансляции В. И. Коваленков еще в первые годы развития совет-

ской радиотехники высказал мысль о возможности увеличения дальности радиосвязи путем установки промежуточных радиостанций между пунктами расположения корреспондентов. Промежуточная станция должна принимать сигналы одного корреспондента и автоматически переизлучать их на другой волне для того, чтобы второй корреспондент мог вести прием на расстоянии от первого, превышающем предельное. Промежуточная (переизлучающая) радиостанция может быть названа релейной или ретрансляционной по аналогии с названиями промежуточных установок в телеграфной и телефонной связи по проводам. Обе оконечные станции и одна или несколько промежуточных станций образуют в целом радиорелейную линию.

Радиорелейные линии по своим технико-экономическим свойствам занимают промежуточное положение между радиосвязью и связью по проводам. В сравнении с радиосвязью на длинных и коротких волнах радиорелейная связь, использующая сверхвысокие частоты, имеет повышенную защищенность от внешних помех, допускает уплотнение линии несколькими (иногда многими) каналами, как телефонными, так и телеграфными, и в значительно меньшей степени зависит от времени года и суток. В отличие же от проводной связи радиорелейная связь обеспечивает повышенную скорость постройки линии, а также, не требуя проводов, характеризуется меньшим весом материалов и меньшей затратой сил и средств на данное число «канало-километров».

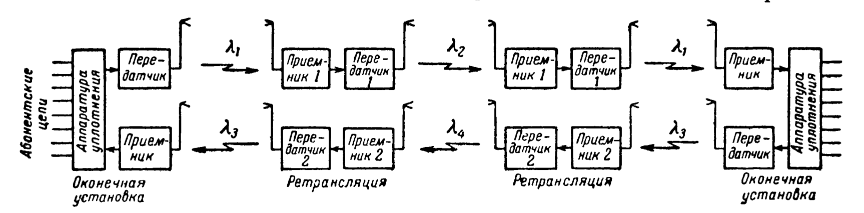
Схематически радиорелейная линия изображена на фиг. 1. Она представляет собой ряд приемно-передающих установок, из которых две оконечные, обслуживающие корреспондентов, а остальные — ретрансляционные (промежуточные), т. е. продолжающие (удлиняющие) радиолинию путем приема сигналов от предыдущей станции и передачи его на следующую станцию.

Каждая оконечная установка состоит из передатчика и приемника, необходимых для одновременных передачи и приема, т. е. для двухсторонней связи; передача и прием производятся на разных волнах, благодаря чему передатчик данной установки не мешает работе ее приемника.

В состав каждой промежуточной станции входят два передатчика и два приемника (для двух направлений обмена). Первый приемник (приемник *1* левой промежуточной станции на фиг. 1) настроен на приходящую волну λ_1. Принятый сигнал усиливается, преобразуется и управляет (без

участия оператора) своим передатчиком, который излучает уже волну λ_2, а не волну λ_1. Это сделано для того, чтобы излучаемые колебания не воздействовали на свой приемник. Следующая ретрансляционная станция принимает на волне λ_2, а излучает сигналы на волне λ_1 или же на некоторой иной и т. д.

Второй приемник (приемник 2) правой промежуточной станции настроен на волну λ_3 (приходящую справа), а второй передатчик этой станции излучает сигналы на волне λ_4. Второй приемник левой промежуточной станции настроен



Фиг. 1. Схема радиорелейной линии с двумя ретрансляциями.

на волну λ_4, а второй передатчик излучает сигналы вновь на волне λ_3 или на некоторой иной и т. д.

Любой передатчик радиорелейной линии должен излучать только в сторону соседней установки, а любой приемник должен вести прием сигналов, приходящих только со стороны соседней установки. Излучение в других направлениях будет бесполезной затратой энергии, а прием с других направлений только увеличит опасность помех.

Следовательно, антенны всех ретрансляционных установок должны обладать направленным действием вдоль линии в сторону соответствующей соседней станции. Именно так из отдельных радиостанций образуется радиолиния.

Свойствами направленности в требуемой мере обладают антенны сверхвысоких частот (метровых, дециметровых и сантиметровых волн). Именно в этих диапазонах и выбираются волны для радиорелейных линий.

Расширение диапазона в сторону более длинных (свыше 10 *м*) волн ограничивается тем, что (при некоторой заданной остроте направленности) размеры антенных устройств возрастают, увеличиваются их громоздкость и сопротивление ветру (парусность), а при приемлемых размерах антенн не получается желательной направленности излучения и приема. Невыгодны также наличие помех на коротких волнах и невозможность передачи большого числа телефонных каналов.

Расширение же «радиолинейного» диапазона в сторону более коротких (сантиметровых) волн ограничивается другими причинами, среди которых существенное значение имеют условия распространения радиоволн в тропосфере: волны длиной 3 *см* и короче в значительной мере поглощаются и рассеиваются каплями дождя, падающим снегом и даже туманом, вследствие чего связь оказывается зависящей от влияния тропосферных «гидрометеоров», т. е. недостаточно устойчивой.

Какими соображениями определяется выбор точек размещения отдельных станций, т. е. прокладка трассы радиолинии?

Удаление друг от друга соседних радиорелейных станций ограничивается расстояниями, при которых сохраняется «взаимная видимость» между антеннами соседних установок. Под названием «взаимная видимость» подразумевают не оптическую видимость в буквальном смысле, а возможность для радиоволн, излучаемых одной из антенн, успешно приниматься другой антенной.

Осуществлению радиосвязи в первую очередь препятствует шаровая поверхность земли (естественная выпуклость профиля земной поверхности). В случае применения длинных волн выпуклость земли не служит препятствием для радиосвязи, так как длинные волны обладают способностью огибать земную поверхность. С уменьшением длины волна эта способность снижается, и волны метрового, а тем более дециметрового и сантиметрового диапазонов по свойствам распространения постепенно приближаются к световым волнам. Однако вследствие различной влажности и различной температуры в слоях тропосферы радиоволны этих диапазонов получают некоторое преломление (рефракцию) в сторону поверхности земли, что равноценно огибанию ими выпуклости земного шара. Благодаря этому «взаимная видимость» антенн иногда определяется (особенно для метровых волн) несколько бо́льшим расстоянием, чем расстояние прямой геометрической видимости.

Вполне понятно, что станции могут быть расположены тем дальше друг от друга, чем выше подняты их антенны. Если не учитывать возможностей рефракции сверхкоротких волн, то при одинаковой высоте h (в метрах) подъема антенн соседних станций преодолеваемое радиоволнами расстояние d (в километрах) между ними в случае идеально шарообразной поверхности земли будет:

$$d \approx 7{,}2\sqrt{h}.$$

Например, антенные вышки в 20 *м* обеспечат «взаимную видимость» для расположенных на них антенн на расстоянии

$$d \approx 7{,}2 \sqrt{20} \approx 32 \text{ км}.$$

Для того чтобы увеличить расстояние «взаимной видимости» в 3 раза, потребовалось бы увеличение высоты антенных вышек в 9 раз, а стоимость их сооружения возросла бы еще резче. Практически антенные опоры строятся высотой не более 70 *м*, а расстояние «взаимной видимости» между соседними станциями в среднем принимают равным 40—50 *км*.

Условия радиопередачи существенно изменяются при наличии гор, холмов, возвышенностей, а также лесных массивов, насыпей, построек и т. п.

Если подобные препятствия находятся между соседними станциями и «закрывают» трассу радиолинии, то они могут быть причинами нарушения связи. Прохождение дециметровых и, в особенности, сантиметровых волн в большей мере нарушается закрытой трассой, чем прохождение метровых волн.

Если же для установки антенн использовать возвышенности, то дальность связи можно увеличить при данном числе промежуточных станций. Например, оказывается возможным установить связь через морской пролив шириной свыше сотни километров, если разместить станции на его гористых берегах. При закрытой трассе вершина горы, находящейся между корреспондентами, может благоприятствовать преломлению волн в сторону земли.

Отсюда понятна техническая и экономическая значимость топографического исследования трассы радиолинии. Неправильно было бы считать, что кратчайшая трасса всегда будет наивыгоднейшей. Наоборот, очень часто пересеченная местность вынуждает располагать станции прихотливым зигзагом, позволяющим обойти преграды или воспользоваться высотами для установки станций.

Диапазон волн, указанный выше для радиорелейной связи (метровые, дециметровые и сантиметровые), весьма широк. Каждый тип радиорелейной станции использует лишь какой-то небольшой участок этого диапазона. Выбор того или иного участка волн для радиолинии определяется путем сопоставления особенностей излучения, распространения и приема волн этих участков с требованиями, предъявляемыми к радиолинии.

Так, например, на более коротких волнах при данной площади антенны можно получить более острую направленность и тем самым обеспечить связь при меньшей мощности передатчиков, а также осуществить уплотнение радиолинии большим числом телефонных каналов или передачу широкополосных каналов телевидения. Но зато на более длинных волнах не столь строгими становятся требования к взаимной видимости и к жесткости антенных опор, проще решаются вопросы высокочастотного усиления в передатчиках и приемниках, упрощается задача стабилизации частоты. Именно эти соображения и должны учитываться при выборе участка волн для каждой проектируемой радиорелейной системы.

Итак, радиолиния представляет собой ряд установок на трассе между корреспондентами, и сооружение ее требует определенных затрат. Эти затраты будут тем больше оправданы, чем большее число корреспондентов обслужит одновременно радиолиния. Следовательно, радиолинию желательно выполнять многоканальной (уплотненной). Связь между двумя корреспондентами образует «канал».

Проблема уплотнения линий связи заключается в сложении отдельных каналов в общий спектр передачи и в разделении каналов при приеме. Основные методы уплотнения были разработаны первоначально для линий проводной связи. Можно разделить эти методы на два широких класса: уплотнение по частоте (частотная многоканальность) и уплотнение по времени (временна́я многоканальность).

Принцип уплотнения по частоте заключается в размещении частот отдельных каналов на разных участках общего диапазона частот при одновременной и непрерывной передаче всех каналов и при их разделении с помощью фильтров на принимающей стороне.

Именно этот принцип находит широчайшее применение в установках дальней телефонной связи по проводам. Наши соотечественники создали научный фундамент этой отрасли техники. Эти труды явились основой для инженерной разработки серийной аппаратуры телефонного уплотнения, которая стала неотъемлемой частью систем междугородных связей нашей страны.

Радиорелейная связь использует принципы, а иногда и серийную аппаратуру телефонного уплотнения по частоте. Но многоканальный спектр сигнала передается не по проводам, а с помощью излучения сверхвысокой несущей ча-

стоты. Разумеется, здесь возникает ряд специальных задач и требований, о которых ниже будет дано понятие.

Принцип уплотнения по времени состоит в передаче сообщения каждого канала в виде последовательности электрических импульсов, в поочередной посылке импульсов отдельных каналов на общую линию связи и в распределении этих импульсов по цепям соответствующих абонентов на принимающей стороне. Этот принцип уже давно применяется в многократных системах синхронных телеграфных аппаратов.

Передача телефонных сигналов требует частого повторения импульсов, длительность которых должна быть малой (доли микросекунды). Поэтому осуществление многоканальной радиорелейной связи с временным уплотнением базируется на развитии техники весьма коротких импульсов. Радиорелейную связь с уплотнением по времени называют импульсной связью.

Теория импульсной связи получила глубокое развитие в трудах наших соотечественников. К 1935 г. относится авторское предложение С. Н. Кокурина о многоканальной радиотелефонной связи с амплитудно-импульсной модуляцией. В. И. Сифоров в 1946 г. впервые опубликовал исследование вопроса о наивыгоднейшей полосе пропускания приемника импульсных сигналов. Этот важнейший вопрос рассматривался затем Я. Д. Ширманом, Е. И. Манаевым и другими авторами.

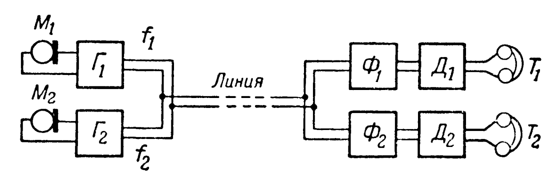
Выдающиеся работы советских ученых в области радиотехники сверхвысоких частот создали прочную теоретическую базу для проектирования и производства аппаратуры радиорелейной связи всех видов. Особенно следует отметить научные заслуги Б. А. Введенского в области распространения ультракоротких волн, А. А. Пистолькорса в области антенн для сверхвысоких частот и В. И. Сифорова по радиоприемным устройствам сверхвысоких частот, а также труды многих специалистов, решавших вопросы теории и расчета отдельных элементов, входящих в состав радиорелейных установок.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ПРИНЦИПЫ ЧАСТОТНОГО УПЛОТНЕНИЯ

1. ДВУХПОЛОСНАЯ И ОДНОПОЛОСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ В КАНАЛАХ

Уплотнение по частоте находит широчайшее применение в установках дальней связи по проводам. Для этой цели нашей промышленностью создано типовое оборудование, которое может успешно применяться и для уплотнения радиолиний. Способы частотного уплотнения целесообразно



Фиг. 2. Частотное уплотнение в проводной связи.

пояснить первоначально на примерах многоканальных систем проводной связи [Л. 1].

На фиг. 2 слева показано передающее устройство простейшей двухканальной телефонной линии связи, а справа — приемное устройство на противоположном конце той же линии. В передающем устройстве микрофоны M_1 и M_2 отдельных абонентов модулируют каждый свой генератор $Г_1$ и $Г_2$ надтональных (несущих) частот f_1 и f_2. В простейшем случае может производиться обычная амплитудная модуляция. От передающей установки на линию поступают одновременно колебания этих генераторов; каждый из них при наличии разговора соответствующего абонента посылает несущее колебание и две полосы боковых частот модуляции.

Если несущие частоты достаточно отличаются одна от другой, то и спектры боковых частот окажутся разнесен-

ными. В этом случае на другом конце линии — на приемной станции — можно разделить каналы при помощи полосовых фильтров.

Фильтр $Ф_1$ приемного устройства (фиг. 2) пропускает только несущую частоту f_1 первого канала и ее боковые частоты модуляции, фильтр $Ф_2$ — частоту f_2 второго канала с ее боковыми частотами и т. д. Вслед за фильтром в приемном тракте каждого канала включается детектор $Д_1$, $Д_2$, называемый демодулятором и создающий разговорную частоту данного канала. Ток звуковой частоты питает абонентский телефон T_1, T_2 приемной установки.

Такая система частотного уплотнения практически вполне осуществима; однако она может быть усовершенствована с целью выполнения дополнительных требований, одновременно усложняясь по принципу работы, схеме и конструкции аппаратуры.

Первым дополнительным требованием является требование двусторонней (дуплексной) телефонии.

Для этого на каждом конце линии должна быть как передающая, так и приемная аппаратура. Простейшим образом можно выполнить это требование, применив четырехпроводную систему связи. Такая система широко применяется при использовании кабельных линий. Особенность ее состоит в том, что связь в ту и другую сторону может осуществляться в одном и том же спектре частот, но по разным парам проводов. На каждом конце линии микрофон одного направления и телефон другого направления сводятся в общую микротелефонную трубку аппарата данного абонента.

Можно осуществить дуплексную связь и по двухпроводной системе, что обычно применяется при использовании воздушных линий. В такой системе каждый канал в прямом и в обратном направлениях должен передаваться на различных участках частотного диапазона, вследствие чего общий диапазон частот, который потребуется на все разговорные каналы, будет в 2 раза больше, чем при четырехпроводной системе. Это необходимо для разделения входящих и исходящих сигналов с помощью фильтров при общей линии. Но это невыгодно с точки зрения задач уплотнения.

Заметим заранее, что радиорелейную дуплексную связь можно считать в этом отношении сходной с четырехпроводной системой, так как спектры каналов прямого и обратного направлений передаются на разных волнах (см. фиг. 1).

Вторым дополнительным требованием к аппаратуре частотного уплотнения является требование однополосной передачи каждого канала.

Модулирующее воздействие при передаче речи представляет собою спектр звуковых частот примерно от 300 до 2 700 *гц*. Каждая составляющая этого спектра вызывает в процессе модуляции появление двух боковых колебаний — верхнего и нижнего, расположенных по обе стороны от несущей частоты соответствующего канала. Весь же спектр звуковых частот образует около несущего колебания две боковые полосы — верхнюю и нижнюю.

Передавая разговорные сигналы при помощи модулированных колебаний, в линию посылают сложные колебания высокой частоты. Полоса частот каждого канала определяется разностью между наибольшей частотой верхнего бокового колебания и наименьшей частотой нижнего бокового колебания:

$$\Delta F = (f_1 + 2\,700) - (f_2 - 2\,700) = 5\,400 \text{ гц}.$$

Необходимая полоса частот при передаче разговорного сигнала модулированными колебаниями более чем в 2 раза превосходит полосу частот самого звукового сигнала, которая имеет ширину

$$2\,700 - 300 = 2\,400 \text{ гц}.$$

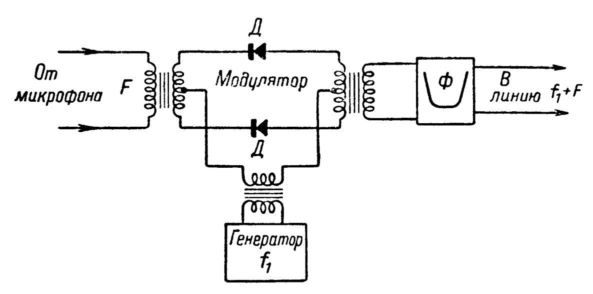
Кроме того, между спектрами каналов необходимы интервалы для успешного разделения каналов фильтрами.

В технике высокочастотной связи важно получить возможно большее число каналов в заданном диапазоне частот, который ограничивается обычно свойствами линий (так как с ростом передаваемой частоты уменьшается дальность, достижимая без промежуточных усилителей).

Один путь к этому состоит в сокращении «защитных» интервалов между спектрами каналов; однако с уменьшением интервалов повышаются габариты и стоимость фильтров приемного устройства, а также возрастает вероятность возникновения переходных помех, т. е. помех в телефоне данного канала от передач соседних каналов. Практически защитные интервалы берутся не менее нескольких сотен герц.

Другой путь заключается в передаче разговорных сигналов канала с помощью только одной из боковых полос, без несущего колебания и без второй боковой полосы. Ширина одной боковой полосы равна ширине полосы разго-

ворного сигнала. Значит, однополосная система позволяет в данном диапазоне частот разместить примерно удвоенное число каналов по сравнению с двухполосной системой. Этот выигрыш является столь существенным, что ради него считают целесообразным усложнять схемы и конструкции как

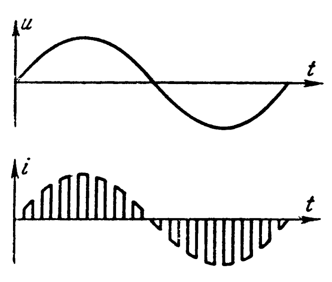


Фиг. 3. Схема однополосной модуляции.

передающих, так и приемных устройств линии многоканальной телефонии.

На передающей стороне для подавления несущего колебания канала применяются балансные (или более сложные — кольцевые) модуляторы, а для подавления второй боковой полосы — соответствующие фильтры.

Пример схемы балансного модулятора с однополосным фильтром дан на фиг. 3. Здесь колебание несущей частоты f_1 данного канала, создаваемое ламповым генератором, воздействует с одинаковой амплитудой на два выпрямительных элемента *Д* через средние точки дифференциальных трансформаторов, вследствие чего на выходе отсутствует ток несущей частоты; иначе говоря, выход на линию сбалансирован относительно несущего колебания, откуда и получает свое название схема модулятора.



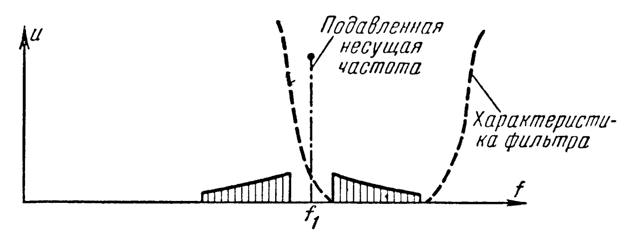
Фиг. 4. Процессы балансной модуляции.

Колебание звуковой частоты *F*, создаваемое цепью микрофона, при воздействии на выпрямители совместно с колебанием несущей частоты прерывается отрицательными полупериодами последнего, как показано на фиг. 4. Анализ получающейся при этом последовательности импульсов показывает, что в ней содержатся токи верхнего и нижнего

боковых колебаний (f_1+F и f_1-F), а также ток частоты F и некоторые побочные комбинационные колебания.

Фильтр, подключенный к выходу модулятора, пропускает в линию только одну из боковых полос — верхнюю или нижнюю. На фиг. 5 изображено прохождение верхней боковой полосы в линию, которая является общей для данного и других каналов.

На принимающем конце линии спектр данного канала выделяется из всей группы спектров также полосовым фильтром. Далее спектр боковых колебаний нужно преобразовать в спектр звуковых частот. При однополосной системе связи без несущей частоты такая задача не может быть выполнена обычным детектированием. Одновременно



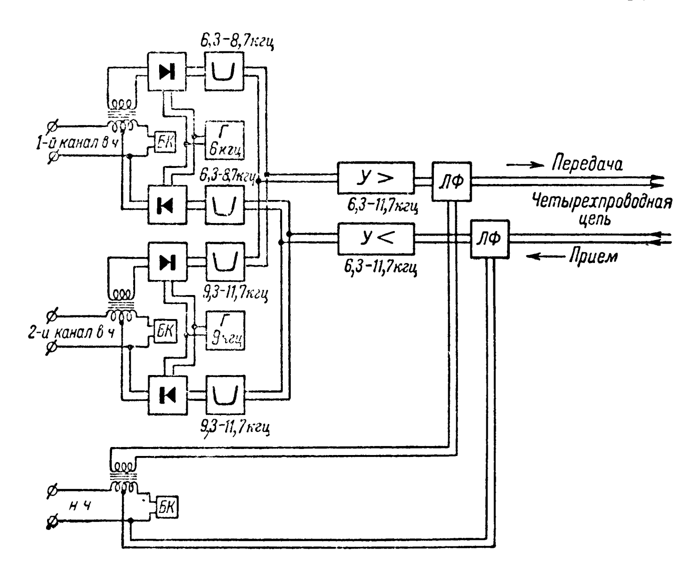
Фиг. 5. Выделение верхней боковой полосы.

с однополосным сигналом к детектору необходимо подвести колебание местного генератора, частота которого была бы практически равна частоте несущего колебания, подавленного в модуляторе. Иначе говоря, детектирование должно осуществляться при наличии «восстановленной» несущей частоты.

В качестве преобразователя однополосного сигнала в звуковой может служить схема балансного детектора, вполне сходная со схемой балансного модулятора (см. фиг. 3), но имеющая обратный порядок прохождения сигнала. На вход ее воздействуют колебания боковой полосы, к средним точкам трансформаторов подключен непрерывно работающий генератор несущего колебания, на выходе через фильтр нижних частот выделяются полученные в преобразователе колебания разговорных токов.

На фиг. 6 изображен пример блок-схемы двухканальной установки высокочастотной связи по четырехпроводным цепям. Первый высокочастотный канал имеет в этом примере несущую частоту 6 *кгц*, и в нем для обоих направлений используется верхняя боковая полоса (6,3—8,7 *кгц*).

Очевидно, что генератор несущей частоты *Г* здесь может и должен быть общим как для модулятора, так и для детектора канала. Второй высокочастотный канал имеет несущую частоту 9 *кгц* с передачей и приемом на верхней боковой полосе (9,3—11,7 *кгц*). Здесь генератор несущей частоты *Г* также является общим для модулятора и детектора канала. Более того, имея единственный генератор с основной частотой 3 *кгц*, можно использовать его вторую гар-



Фиг. 6. Блок-схема двухканальной аппаратуры высокочастотной связи по четырехпроводным цепям с использованием низкочастотного канала.

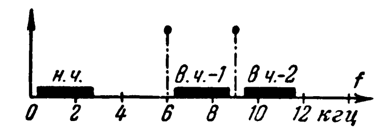
монику в качестве несущего колебания первого канала (6 *кгц*), а третью гармонику в качестве несущего колебания второго канала (9 *кгц*); это упрощает установку.

Низкочастотные цепи модулятора и детектора каждого канала переходят (с помощью дифференциальной системы, уравновешенной балансным контуром *БК*) на двухпроводную телефонную линию, ведущую к коммутатору абонентских аппаратов.

Наряду с высокочастотными каналами можно воспользоваться той же цепью для одновременной передачи низкой частоты, что требует включения разделительных фильтров *ЛФ*, именуемых линейными.

На фиг. 7 изображены спектры сигналов, характерные для данной аппаратуры. Низкочастотная полоса занимает диапазон от 300 до 2 700 *гц*, полоса первого высокочастотного канала — от 6,3 до 8,7 *кгц* и полоса второго канала — от 9,3 до 11,7 *кгц*.

Число каналов, которым уплотняются линии проводной связи, весьма разнообразно и зависит как от эксплуатационных потребностей, так и от возможностей, обусловленных свойствами самих линий. Например, установки для уплотнения воздушных линий строятся с числом высокочастотных каналов от 1 до 12. Симметричные кабели могут иметь уплотнение на 24 канала, а концентрические кабели, пропускающие полосу до 2 000 *кгц*, дают возможность получить несколько сотен телефонных каналов.

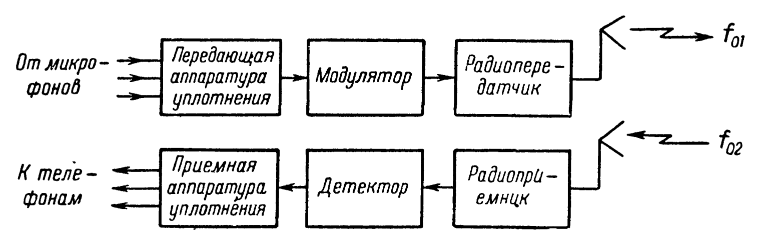


Фиг. 7. Спектры частот в аппаратуре, изображенной на фиг. 6.

Таковы самые краткие сведения о частотном уплотнении в проводной связи, необходимые для понимания действия этой системы в радиорелейных линиях.

2. МНОГОКАНАЛЬНАЯ РАДИОСВЯЗЬ С УПЛОТНЕНИЕМ ПО ЧАСТОТЕ

Выше упоминалось, что для уплотнения радиолиний используются не только принципы, но и конкретные устройства однополосной многоканальной связи по проводам.



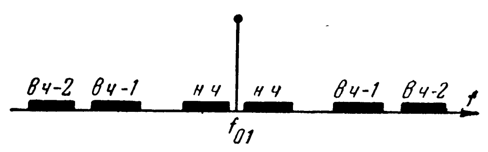
Фиг. 8. Блок-схема радиорелейной станции с частотным уплотнением.

Состав оконечной радиорелейной установки с частотным уплотнением показан на фиг. 8. Получаемый на выходе уплотняющей аппаратуры многоканальный спектр воздействует на модулятор радиопередатчика, излучающего колебания сверхвысокой частоты f_{01}. Эту частоту называют не-

сущей частотой, в связи с чем частóты отдельных каналов целесообразно назвать «поднесущими». В простейшем случае модуляция радиопередатчика может быть амплитудной.

В процессе модуляции радиопередатчика спектр каждого канала однополосной системы создает около несущей частоты f_{01} две боковые полосы. Это показано на фиг. 9 применительно к примеру передачи трех каналов. Все составляющие частóты радиочастотного спектра излучаются радиопередающим устройством.

Радиоприемное устройство той же установки принимает сигналы на другой несущей частоте f_{02}, что аналогично второй цепи в четырехпроводной системе связи по кабелю. Собственно радиоприемник заканчивается детектором, на вы-



Фиг. 9. Спектр частот излучаемых колебаний при многоканальной модуляции радиопередатчика.

ходе которого принятый спектр радиочастот оказывается преобразованным в спектр поднесущих частот (подобный показанному на фиг. 7). Каждая пара боковых полос радиочастотного спектра после детектирования и фильтрации превращается в спектр соответствующего однополосного сигнала. Дальше происходят усиление, разделение каналов фильтрами и демодуляция их в балансных преобразователях, как это было изложено ранее.

Ширина полосы частот, которую должен пропускать передатчик и которая должна доводиться до детектора в приемнике, оказывается, очевидно, вдвое шире, чем полоса уплотняющей аппаратуры. Так, например, для передачи и приема по радио спектра, изображенного на фиг. 7, необходима полоса пропускания шириной в 23,4 *кгц*. С увеличением числа каналов потребная полоса расширяется. Однако нужно заметить, что в действительности полосу пропускания радиолинии часто приходится устанавливать с тем или иным запасом, учитывая возможную нестабильность несущей частоты передатчика и настройки приемника.

Пусть, например, радиорелейная установка имеет несущую частоту 3 000 *мггц* ($\lambda = 10$ *см*), а общая нестабильность частоты оценивается цифрой 0,05%. Тогда расстрой-

ка может достигать величины $3\,000 \cdot 0{,}0005 = 1{,}5$ *мггц*. Полоса пропускания должна превосходить эту цифру, чтобы в процессе работы радиолинии связь не нарушалась уходом частоты. Значит, необходимая ширина полосы пропускания иногда значительно превосходит полосу, потребную для неискаженного прохождения спектра сигналов.

Фиг. 10. Преобразования спектров при радиорелейной связи с частотным уплотнением.

На фиг. 10 показаны стадии преобразования спектров трех каналов (два высокочастотных и один низкочастотный) при передаче по радиолинии с частотным уплотнением. Здесь же изображены пунктиром частотные характеристики соответствующих цепей, которые показывают примерные полосы пропускания каждого звена установки.

Первые три верхних графика изображают разговорные спектры абонентов трех каналов на передающей стороне. На четвертом сверху графике показан спектр низкочастотного и двух высокочастотных каналов на выходе уплотняющей аппаратуры. Средний график изображает спектральный состав колебаний сверхвысокой частоты, излучаемых радиопередатчиком и принимаемых радиоприемным устройством корреспондента. Затем представлен спектральный состав сигналов, прошедших детектор приемника. Наконец, на нижних графиках показаны расфильтрованные демодулированные сигналы трех каналов, поступающие в телефоны корреспондентов.

Итак, радиорелейные установки с частотным уплотнением на поднесущих частотах во многих случаях заимствуют из проводной связи не только принципы, но и конкретную аппаратуру уплотнения. Можно представить себе такие случаи, когда одна и та же уплотняющая аппаратура по мере эксплуатационной надобности включается для работы либо по проводным цепям, либо по радиолинии.

Заметим, что в проводной связи один телефонный канал может быть использован для одновременной передачи нескольких телеграфных буквопечатающих каналов. Эта возможность «вторичного уплотнения», основанная на передаче разных телеграфных каналов различными тональными частотами в пределах телефонной полосы, вполне осуществима и на радиорелейных линиях.

ГЛАВА ВТОРАЯ

РАДИОАППАРАТУРА ЛИНИЙ, УПЛОТНЯЕМЫХ ПО ЧАСТОТЕ

3. ВЫБОР МОДУЛЯЦИИ НЕСУЩЕЙ ЧАСТОТЫ

При разработке радиорелейной аппаратуры сверхвысоких частот важнейшим требованием является устойчивость работы радиолинии.

Основным источником помех для радиосвязи на сверхвысоких частотах, особенно при остро направленном действии антенных устройств, являются внутренние шумы, возникающие вследствие хаотических движений электронов во входных цепях и лампах приемника. Мощность мешающих шумовых колебаний пропорциональна полосе пропускания приемника. Следовательно, задача борьбы с шумами для радиолиний приобретает тем большее значение, чем шире эта полоса.

На выходе каждого приемника радиолинии должно быть обеспечено необходимое превышение мощности сигнала над мощностью шумов. Это достигается правильной прокладкой трассы, использованием направленных антенных систем и достаточно мощных радиопередатчиков и, наконец, применением помехоустойчивых видов модуляции.

Рассмотренная выше однополосная модуляция поднесущих частот в системах уплотнения является разновидностью амплитудной модуляции. Точно так же при изложении принципа радиочастотной модуляции (фиг. 9 и 10) предполага-

лась модуляция колебаний сверхвысокой частоты по амплитуде.

Однако амплитудная модуляция не дает возможностей подавления помех (в основном шумовых помех) в радиоприемном устройстве.

Учитывая, что такие возможности обеспечиваются при модуляции по частоте, можно считать основным методом модуляции радиорелейных передатчиков непрерывного излучения именно частотную модуляцию [Л. 2, 3, 4].

При приеме колебаний, модулированных по частоте, в схему приемника вводят амплитудный ограничитель, с помощью которого «срезается» паразитная модуляция сигнала по амплитуде, создаваемая помехами. Вследствие этого отношение напряжения сигнала к напряжению помех на выходе приемника оказывается выше, чем на входе.

Эффект подавления помех при приеме частотно-модулированных колебаний оказывается тем больше, чем ниже модулирующая частота. В многоканальных линиях модуляция производится колебаниями спектров поднесущих частот нескольких каналов. Очевидно, что для каналов более высоких номеров, образованных высшими поднесущими частотами, помехоустойчивость будет хуже, чем для каналов низких номеров. При этом мощность передатчика приходится выбирать исходя из худшей помехоустойчивости.

Это обстоятельство следует считать одним из недостатков радиолиний с частотным уплотнением; однако при правильно рассчитанной и выполненной аппаратуре радиорелейной связи сочетание однополосной модуляции в каналах с частотной модуляцией несущего колебания (система ОМ—ЧМ) обеспечивает требуемые показатели по качеству работы.

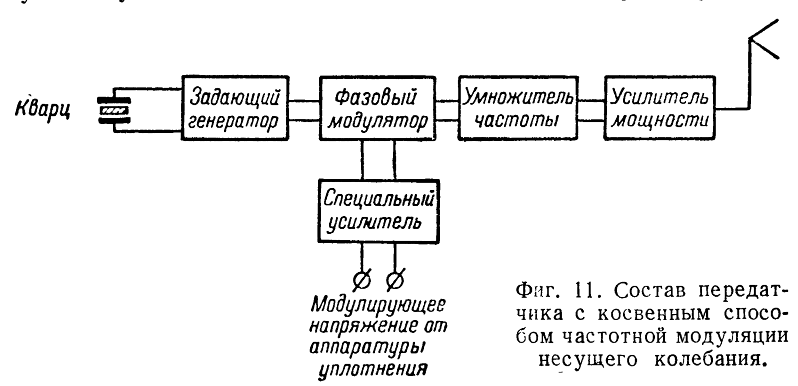
Частотная модуляция может осуществляться либо прямым, либо косвенным способом.

Прямой способ состоит в том, что под действием модулирующего напряжения изменяются индуктивность или емкость колебательного контура задающего генератора. Использование таких схем целесообразно в передатчиках, не имеющих кварцевой стабилизации частоты задающего генератора. При этом схема передатчика получается сравнительно простой.

Однако передатчики без кварцевой стабилизации не всегда отвечают требованиям радиорелейной связи с точки зрения устойчивости частоты. Поэтому в ряде систем прихо-

дится стабилизировать частоту задающего генератора с помощью кварца. Поскольку кварц не может быть изготовлен на очень высокие частоты, для питания антенны передатчика колебаниями сверхвысокой частоты необходимо применять большое число каскадов умножения частоты задающего генератора. Это существенно усложняет схему радиопередатчика. Осложняется и способ частотной модуляции.

В связи с «жесткой» стабильностью частоты кварцевого генератора нет возможности осуществить требуемую частотную модуляцию в задающем каскаде. Поэтому модуляция



Фиг. 11. Состав передатчика с косвенным способом частотной модуляции несущего колебания.

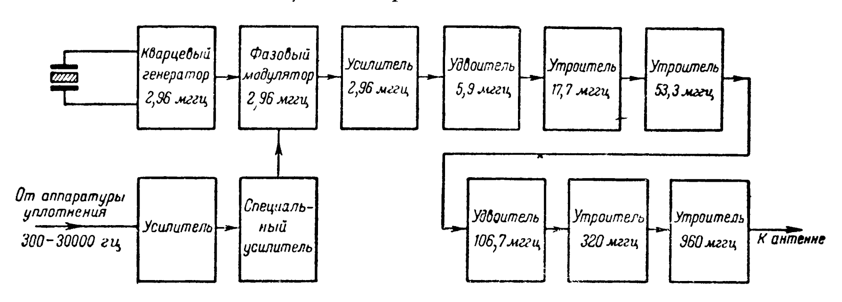
выполняется косвенным путем — в одном из каскадов усиления мощности (фиг. 11). Каскад усиления, называемый фазовым модулятором, представляет собой устройство, которое под действием модулирующего сигнала создает качание (девиацию) фазы усиливаемых колебаний в небольших пределах, например, путем изменения емкости или индуктивности контура этого каскада. Такой вид модуляции называется фазовой модуляцией и сопровождается качанием частоты. Прием сигналов с фазовой модуляцией на приемник частотной модуляции оказался бы искаженным, так как в этом случае качание радиочастоты пропорционально частоте модулирующего сигнала.

Для того чтобы получить не фазовую, а частотную модуляцию, необходимо модулирующее напряжение подвергнуть предварительно усилению в специальном каскаде, у которого коэффициент усиления обратно пропорционален частоте. Тогда в фазовом модуляторе будет обеспечена независимость качания радиочастоты от модулирующей частоты, т. е. получится желаемая частотная модуляция.

Достигнуть достаточно большого качания частоты возможно далее в процессе умножения частоты, так как вместе с несущей частотой умножается и величина качания частоты.

4. ПРИМЕРЫ СХЕМ ПЕРЕДАТЧИКОВ И ПРИЕМНИКОВ

Краткие сведения о модуляции, изложенные выше, позволяют рассмотреть примерную блок-схему передатчика радиолинии с частотным уплотнением. В качестве примера возьмем передатчик радиолинии, которая уплотняется шестью телефонными каналами в диапазоне частот 300—30 000 *гц* и работает на несущей частоте 960 *мгц* (длина волны около 31 *см*) с кварцевой стабилизацией.



Фиг. 12. Примерный состав передатчика радиолинии с частотным уплотнением и кварцевой стабилизацией.

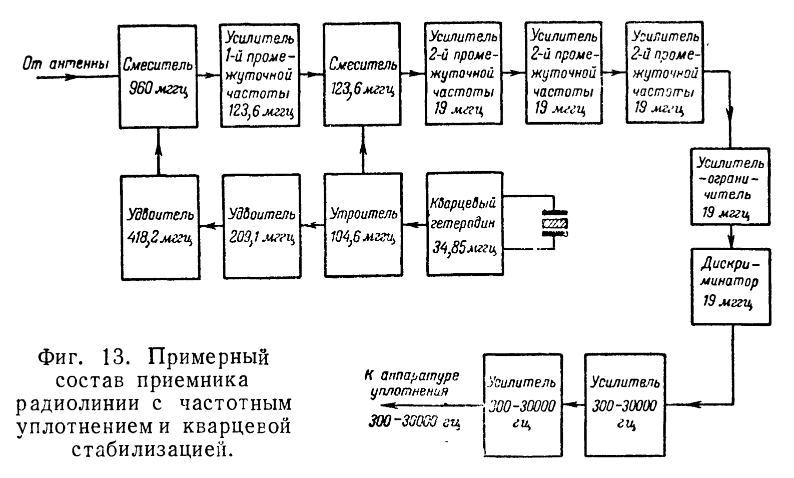
Схема фиг. 12 показывает число и назначение каскадов передатчика и дает приближенные значения частоты колебаний в каждом каскаде.

Частота кварцевого генератора (2,96 *мггц*) умножается в общем в 324 раза. Спектр уплотняющих частот, подвергнутый специальному усилению, производит частотную модуляцию во втором каскаде. Последний каскад умножения частоты служит выходным каскадом передатчика. Мощность передатчика порядка 2 *вт*, максимальная девиация частоты в выходном каскаде около 150 *кгц*. Низкочастотный канал уплотнения обычно используется в качестве канала для служебных переговоров по радиолинии.

Блок-схема приемного устройства подобной радиолинии изображена на фиг. 13. Это — супергетеродинный приемник с двойным преобразованием частоты и с кварцевой стабилизацией гетеродина. Значения частот в каскадах указаны приближенно. Применение кварцевой стабилизации гете-

родина является вполне естественным при наличии такой же стабилизации передатчика. Характерно использование здесь общего кварца для первого и второго преобразования частоты при разных величинах умножения.

Первая промежуточная частоты (123,6 *мггц*) получается в результате взаимодействия в первом смесителе принимаемых колебаний со второй гармоникой колебаний гетеродина. Колебания этой промежуточной частоты усиливаются только в одном каскаде, что дает нужное ослабление зеркального канала. Колебания второй промежуточной частоты



Фиг. 13. Примерный состав приемника радиолинии с частотным уплотнением и кварцевой стабилизацией.

(19 *мггц*) подвергаются усилению в четырех каскадах, последний из которых является ограничителем, обеспечивающим подавление шумов. Частотный детектор (дискриминатор) преобразует сигнал промежуточной частоты в поднесущий спектр однополосной амплитудной модуляции, который после усиления в двух каскадах подводится к приемному устройству аппаратуры уплотнения, где каналы демодулируются и доводятся до абонентов.

Приведенные блок-схемы радиопередатчика и радиоприемника являются примерными, но отнюдь не обязательными даже для указанного в них порядка значений несущей частоты и числа каналов. Так, отказ от кварцевой стабилизации передатчика мог бы значительно упростить схему последнего за счет уменьшения числа каскадов, умножающих частоту, а также за счет применения прямого способа частотной модуляции. Нужно, однако, иметь в виду, что схема приемника в этом случае не получила бы существен-

ного упрощения, а возможно, и усложнилась бы вследствие необходимости применить, например, автоматическую подстройку частоты гетеродина.

Для радиорелейных установок с большим числом каналов передатчики и приемники могут иметь существенные отличия. Если, например, речь идет о линии не на 6, а на 24 канала, то целесообразными окажутся переход на более короткие волны (ближе к сантиметровому диапазону) и использование большего качания частоты, а вместе с тем и более широкой полосы пропускания. Можно ожидать, что для передачи 24 каналов с частотным уплотнением потребуется девиация частоты 1,5—2 *мггц*, что затруднит применение кварцевой стабилизации задающего генератора и заставит использовать прямой способ частотной модуляции. В этом случае, естественно, изменится и система поддержания постоянства настроек передатчика и приемника.

Радиолинии, проектируемые для передачи сотен каналов или же для междугородной ретрансляции телевидения, предъявляют к аппаратуре весьма специализированные требования. Выполнить их можно лишь при работе в диапазоне сантиметровых волн.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ПРИНЦИП УПЛОТНЕНИЯ ПО ВРЕМЕНИ И ИМПУЛЬСНО-АМПЛИТУДНАЯ МОДУЛЯЦИЯ

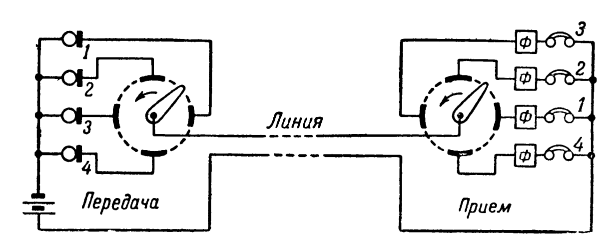
5. СВЯЗЬ ПО ПРОВОДАМ С УПЛОТНЕНИЕМ ПО ВРЕМЕНИ

Радиорелейные системы с уплотнением по времени (импульсные системы) разрабатывались приблизительно в одно время с радиорелейными системами, уплотняемыми по частоте. Соображения, вызвавшие разработку импульсных систем, сводились главным образом к следующему: при частотном уплотнении, во-первых, фильтры разделения каналов являются дорогой и громоздкой частью оборудования многоканальных линий; во-вторых, требуется очень строгое соблюдение линейности амплитудных характеристик модулятора, частотного детектора и каскадов усиления многоканального спектра (фиг. 12 и 13), так как при нелинейности этих характеристик возникают неустранимые переходные помехи между каналами вследствие их взаимной модуляции. В настоящее время обе эти трудности достаточно успешно устраняются: уменьшаются габариты и удешев-

ляется производство фильтров разделения каналов, достигается необходимая линейность характеристик модуляторов, дискриминаторов и усилителей.

Однако совершенствование принципов и технологии импульсной радиорелейной аппаратуры позволило и в ней достигнуть высоких качественных показателей. Импульсные системы более рационально используют полосу пропускания радиорелейной аппаратуры дециметровых и сантиметровых волн — полосу, которую вынужденно берут широкой вследствие нестабильности настройки [Л. 5].

При импульсной связи принципиально достижима работа приемника в условиях превышения мощности шумов над средней мощностью сигнала. Синхронные системы разде-



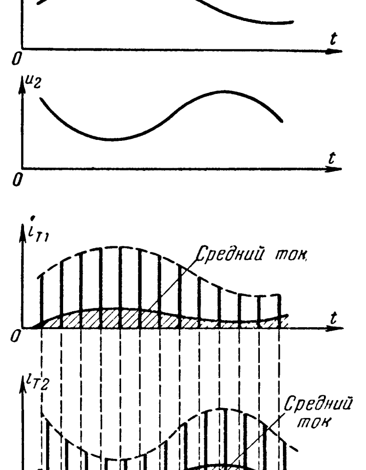
Фиг. 14. Принцип уплотнения по времени.

ления каналов обычно не представляют собой сложных и громоздких устройств. Возможность осциллографического наблюдения процессов в общем тракте и отдельных каналах создает известные удобства контроля. Все это приводит к тому, что импульсные системы радиорелейной связи до настоящего времени разрабатываются и широко применяются на дециметровых и сантиметровых волнах наряду с частотными системами, но по мере развития техники стабилизации частоты, позволяющей уменьшать полосу пропускания, постепенно уступают последним диапазон дециметровых волн.

Принцип импульсной телефонной связи можно пояснить с помощью условной схемы фиг. 14, изображающей одностороннюю передачу четырех каналов по проводам с разделением по времени. В этой схеме микрофоны передающей стороны и телефоны принимающей стороны попарно соединяются между собой в порядке нумерации каналов с помощью двух распределителей (коммутаторов), вращающихся с одинаковой скоростью и в одинаковой фазе. Когда, например, распределитель передающей стороны проходит

по контакту первого канала, то и распределитель приемной стороны проходит по контакту первого канала и т. д. Следовательно, ток в цепи каждого канала проходит прерывистыми посылками (импульсами), причем длительность импульса равна времени прохождения распределителя по контакту.

Скорость вращения распределителей должна быть такой, чтобы за самый короткий период звукового колебания в цепи канала прошло не менее двух импульсов. Практически это означает, что необходимая частота вращения составляет примерно 8 000 об/сек.



Фиг. 15. Процессы импульсной связи.

Пусть микрофон *1* канала создает напряжение u_1 (фиг. 15), а микрофон *2* канала — напряжение u_2. Кратковременные замыкания соответствующих цепей посылают в телефоны T_1 и T_2 импульсы тока i_{T1} и i_{T2}, показанные на нижних графиках. Эти импульсы во времени разнесены. Между ними остаются промежутки времени для импульсов двух других каналов из четырех, показанных на фиг. 14. Своей высотой (или, как условно говорят, своей амплитудой) импульсы воспроизводят кривую напряжения, создаваемую соответствующим микрофоном. Иначе говоря, импульсы модулируются по амплитуде.

В цепь каждого телефона включается фильтр, отводящий частоту повторения импульсов (8 000 *гц*) и пропускающий через телефон среднее значение тока, в котором, как видно из фиг. 15, содержится составляющая звуковой частоты передачи данного канала.

Таким образом, телефон любого канала получает сигнал от микрофона только своего канала благодаря очередности передачи импульсов во времени, откуда подобная система уплотнения называется уплотнением по времени (временно́е уплотнение). Частота вращения распределителей называется тактовой частотой. Промежуток времени

между начальными моментами двух соседних импульсов одного канала может быть, следовательно, назван тактовым периодом. Если тактовая частота равна 8 000 *гц*, то тактовый период составляет 125 *мксек*.

Длительность каждого импульса должна быть такой, чтобы за тактовый период разместились импульсы всех каналов, оставляя между собой «защитные» промежутки времени, которые исключали бы возможность переходных помех, т. е. возможность прохождения импульсов данного канала в фильтр соседнего канала. На фиг. 14 промежутки между контактами показаны пунктиром. Следовательно, чем большим числом каналов уплотняется импульсная линия, тем более короткими должны быть импульсы передачи. Практически в системах импульсной связи длительность импульсов исчисляется микросекундами и даже долями микросекунды.

Вполне понятно, что условная схема импульсной телефонной связи, показанная на фиг. 14, не может быть практически осуществлена с применением механических распределителей: требуемые здесь скорости коммутации механическими системами не обеспечиваются. Кроме того, линии проводной связи (за исключением концентрических кабелей) непригодны для передачи столь кратковременных импульсов. По этим причинам проводная телефония не пользуется временным уплотнением; в проводной же телеграфии этот принцип давно известен и широко применяется.

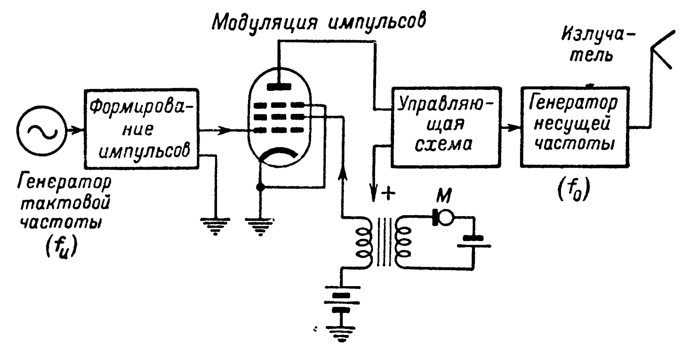
6. ПРИНЦИП ИМПУЛЬСНОЙ РАДИОСВЯЗИ

Радиолиния дает возможность на сверхвысоких частотах передавать короткие импульсы. Но формирование и распределение таких импульсов стали успешно осуществляться только тогда, когда были найдены для этого электрические или электронные способы.

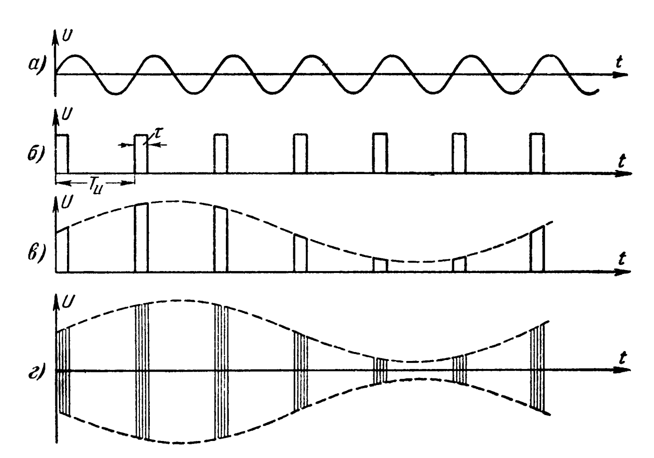
Рассмотрение аппаратуры импульсной радиосвязи целесообразно начать с простейшего примера — с изучения одноканальной радиолинии. На фиг. 16 дается состав одноканального радиотелефонного передатчика с импульсно-амплитудной модуляцией.

Схема начинается с генератора тактовой частоты $f_и$, которая, как мы знаем, должна иметь значение примерно 8 000 *гц*. Этот генератор выполняется по одной из схем, обладающих высокой стабильностью частоты, и дает напряжение синусоидальной формы, как показано на фиг. 17,*а*.

Из синусоидального напряжения в следующем блоке схемы формируются импульсы напряжения одного знака (фиг. 17,*б*). Задача формирующего устройства состоит в том, чтобы создать последовательность импульсов малой продолжительности при частоте повторения f_u, т. е. по



Фиг. 16. Схема простейшего передатчика импульсной радиосвязи.



Фиг. 17. Процессы работы простейшего радиотелефонного импульсного передатчика.

одному импульсу за тактовый период. Импульсы постоянного напряжения принято называть видеоимпульсами, хотя этот термин, взятый из области телевидения, и не характерен для устройства связи. О процессе формирования видеоимпульсов будет сказано в следующей главе.

Сформированные видеоимпульсы напряжения воздействуют на управляющую сетку модуляторной лампы. Под действием этих импульсов возникают периодические импульсы анодного тока лампы. На вторую (экранирующую) сетку той же лампы подается модулирующее напряжение от абонентского микрофона (через трансформатор) и напряжение батареи. Модулятор выполнен по схеме усиления на сопротивлении. Коэффициент усиления этой схемы изменяется вместе с напряжением на экранирующей сетке по закону модулирующей частоты.

Следовательно, импульсы напряжения на выходе модулятора получаются разной высоты в соответствии с законом модуляции. На фиг. 17,*в* штриховой линией изображен закон модуляции, а сплошными линиями показаны импульсы, подвергшиеся модуляции по высоте. Такой способ модуляции называют импульсно-амплитудной модуляцией (ИАМ). В данной схеме формирование и модуляция выполняются без механических вращающихся устройств.

Модулированные видеоимпульсы далее усиливаются в управляющей схеме, которая состоит из одного или нескольких каскадов и представляет собой широкополосный усилитель. Импульсы значительного напряжения, получаемые на выходе этого блока, воздействуют на генератор сверхвысокой частоты f_0 и управляют его колебаниями. Процесс управления колебаниями радиопередатчика может быть назван вторичной или радиочастотной модуляцией.

Простейшим, но, как увидим ниже, не всегда целесообразным методом вторичной модуляции является модуляция радиопередатчика по амплитуде. При воздействии видеоимпульса колебания от генератора поступают в антенну, а при отсутствии импульса колебаний в антенне нет.

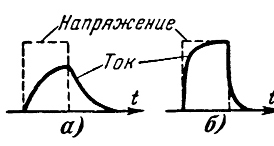
Следовательно, управляемый видеоимпульсами генератор создает в антенне радиоимпульсы, т. е. серии колебаний сверхвысокой частоты. Первичная амплитудная модуляция находит свое отображение в том, что амплитуды радиоимпульсов неодинаковы; форма их огибающей воспроизводит закон изменения напряжения звуковой частоты (фиг. 17,*г*).

Тактовый период T_u и длительность импульса τ характеризуют как видеоимпульсы, так и радиоимпульсы. Антенна передатчика излучает в пространство электромагнитные волны в виде таких же радиоимпульсов.

Как указывалось выше, длительность видеоимпульса τ является малой; однако она значительно больше периода колебаний радиопередатчика. Пусть, например, несущая частота $f_0 = 10^9$ *гц* (т. е. длина волны $\lambda = 30$ *см*), а длительность видеоимпульса $\tau = 1$ *мксек*; тогда один радиоимпульс содержит 1 000 периодов несущего колебания.

Рассмотрим теперь сущность приема импульсной радиотелефонии с первичной и вторичной модуляцией по амплитуде (ИАМ—АМ).

Какая потребуется ширина полосы пропускания приемника для неискаженного воспроизведения импульсов?



Фиг. 18. Прохождение импульсов в контурах с узкой и широкой полосой пропускания.

Чем шире полоса пропускания, тем быстрее нарастает в приемных цепях ток под действием напряжения сигнала и тем быстрее исчезает ток по окончании сигнала. Значит, чем короче импульс, тем меньше должны быть промежутки времени нарастания и спадания тока, т. е. тем шире должна быть выбрана полоса пропускания. На фиг. 18,*а* показано воспроизведение импульса в контуре с узкой, а на фиг. 18,*б* — с широкой полосой пропускания.

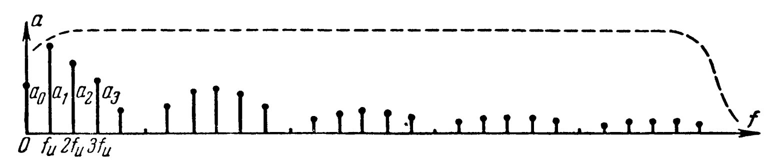
Следовательно, для усиления более коротких импульсов требуется более широкая полоса пропускания. Но выбор излишне широкой полосы также нежелателен: если полосу пропускания усилителя чрезмерно расширить, то точность воспроизведения импульса заметно не улучшится, так как импульс и без того уже воспроизводится практически без искажений; в то же время расширение полосы увеличивает мощность собственных шумов приемника, что ухудшает качество воспроизведения звука. На основании этого можно утверждать, что для каждой длительности импульса существует некоторое наивыгоднейшее значение полосы видеочастот.

К тому же выводу можно притти путем спектрального представления импульсных сигналов. Периодически повторяющиеся немодулированные видеоимпульсы (см., например, фиг. 17,*б*) могут быть представлены суммой синусоидальных колебаний с частотами, кратными частоте повторения $f_и$ ($f_и$, $2f_и$, $3f_и$ и т. д.), т. е. рядом гармонических составляющих. Амплитуды этих составляющих a_1, a_2, a_3 и т. д. с увеличением своего номера, вообще говоря, убывают (фиг. 19). В составе изображенного ряда имеется,

кроме того, постоянная составляющая a_0 (средний ток или среднее напряжение последовательности видеоимпульсов).

Чем меньше длительность импульсов τ, тем медленнее убывают амплитуды высших гармоник по сравнению с амплитудой основной составляющей a_1. Усилитель видеоимпульсов должен для их неискаженного воспроизведения иметь полосу пропускания, простирающуюся вплоть до гармоники такого порядка, амплитуда которой составляет малую долю от амплитуды первой гармоники. Характеристика усилителя показана на фиг. 19 пунктиром.

Спектр частот, содержащихся в последовательности радиоимпульсов, расширяется вдвое по сравнению со спектром видеоимпульсов, так как в процессе вторичной модуля-



Фиг. 19. Пример спектра видеоимпульсов и характеристики видеоусилителя.

ции каждая гармоника видеоимпульсов создает пару боковых частот около несущей частоты f_0 передатчика. Спектр излучения импульсного радиопередатчика изображен на фиг. 20.

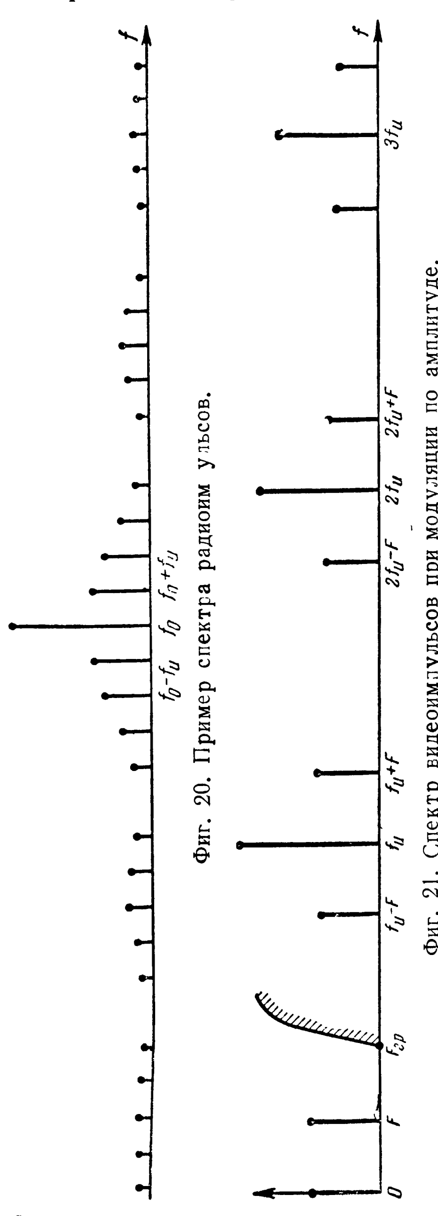
В работах советских ученых строгим математическим исследованием было доказано, что наивыгоднейшее значение полосы пропускания для радиоимпульсов обратно пропорционально длительности импульса. В качестве коэффициента обратной пропорциональности можно с некоторым запасом брать цифру 2. Например, для импульса длительностью в 1 *мксек* целесообразна ширина полосы радиотракта

$$\Delta F = \frac{2}{1 \cdot 10^{-6}} = 2 \cdot 10^6 \text{ гц } (2 \text{ мггц}).$$

Для импульсов длительностью в 0,5 *мксек* рекомендуется полоса 4 *мггц*. Очевидно, что полоса пропускания видеотракта может быть вдвое меньшей.

Следует отметить, что практически при выполнении радиорелейной импульсной аппаратуры нередко отступают от наивыгоднейших значений полосы. Например, считаясь с нестабильностью настроек передатчика и приемника, прихо-

дится иногда полосу пропускания радиочастот расширять по сравнению с указанными величинами. В некоторых случаях уменьшают полосу пропускания видеочастот, допуская известное искажение формы видеоимпульсов с целью уменьшения шумов.



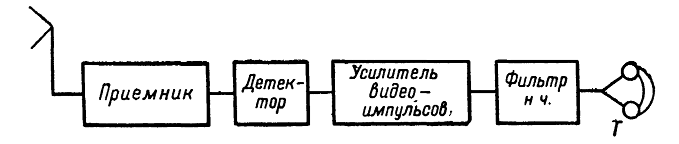
Фиг. 20. Пример спектра радиоимпульсов.

Фиг. 21. Спектр видеоимпульсов при модуляции по амплитуде.

Важной особенностью импульсных систем радиосвязи является то, что модуляция видеоимпульсов не вызывает необходимости увеличивать полосу пропускания, тогда как в системах с частотным уплотнением потребная полоса определялась именно шириной спектра при модуляции.

Начальный участок спектра видеоимпульсов, модулируемых по амплитуде, изображен на фиг. 21. Сравнивая эту фигуру с фиг. 19, можно установить следующее: вследствие модуляции звуковой частотой F создаются пары боковых частот около каждой из гармоник частоты f_u повторения видеоимпульсов (тактовой частоты); следовательно, общая ширина полосы, занимаемой спектром, практически не изменяется. Кроме того, за счет модуляции в составе спектра появилась составляющая звуковой частоты F, что является результатом изменений

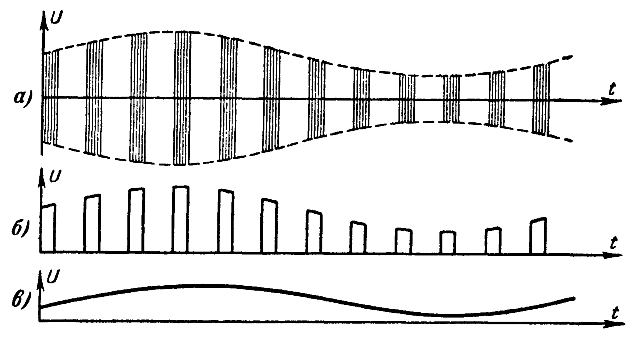
среднего значения напряжения или тока видеоимпульсов (см. фиг. 15). Отсюда становится очевидным, что для получения первичного сигнала на выходе приемника достаточно выделить эту составляющую с помощью фильтра нижних частот. Процесс получения первичного сигнала называют демодуляцией видеоимпульсов.



Фиг. 22. Блок-схема простейшего приемника импульсной радиосвязи.

На фиг. 21 штриховкой показана граница полосы пропускания фильтра нижних частот. Очевидно, что граничная частота $F_{гр}$ полосы пропускания фильтра должна соответствовать наивысшей модулирующей (звуковой) частоте, которую требуется воспроизводить телефоном. Обычно в телефонной связи эта частота имеет значение 2 700 *гц*.

Если тон модулирующего звука повышается, то составляющая звуковой частоты F приближается слева к гранич-

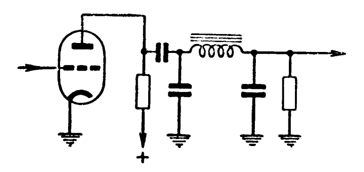


Фиг. 23. Процессы работы простейшего импульсного радиотелефонного приемника.

ному значению $f_{гр}$. Но одновременно к тому же граничному значению приближается справа нижняя боковая частота при первой гармонике, т. е. составляющая $f_и - F$. Если бы обе составляющие (F и $f_и - F$) оказались одновременно в полосе пропускания фильтра, то они звучали бы в телефоне приемника одновременно, искажая передавае-

мую речь. Очевидно, что во избежание этих искажений частота первой гармоники, т. е. тактовая частота f_u должна более чем вдвое превосходить наивысшую из передаваемых звуковых частот. Если это условие выполнено, то боковая частота $f_u - F$ даже при высшем модулирующем тоне не пройдет в полосу фильтра. Именно отсюда и установлено указанное выше значение тактовой частоты 8 000 *гц*.

Рассмотренные положения позволяют составить блок-схему приемника, предназначенного для простейшей одноканальной связи по системе ИАМ—АМ (фиг. 22).



Фиг. 24. Схема каскада усиления с фильтром звуковых частот.

В этой схеме сверхвысокочастотный широкополосный приемник, заканчивающийся детектором, обеспечивает неискаженное усиление и детектирование радиоимпульсов (фиг. 23,*а* и *б*). На выходе детектора создаются видеоимпульсы, модулированные по тому же закону, что и радиоимпульсы. Модулированные видеоимпульсы усиливаются, чтобы дать необходимую громкость звука в телефоне. В анодную цепь предпоследнего каскада усиления включается фильтр нижних частот (фильтр демодуляции); примерная схема этого каскада дана на фиг. 24. Фильтр выделяет из спектра импульсов составляющую звуковой частоты, которая воздействует через оконечный каскад на телефон (фиг. 23,*в*).

Иногда вместо описанной выше простой фильтрации звуковых частот применяют схему, в которой происходит «ступенчатый» заряд конденсатора через диодный выпрямитель. Конденсатор, заряжаемый импульсами, в то же время непрерывно разряжается через сопротивление. Такая схема обеспечивает относительное увеличение амплитуды колебаний звуковой частоты.

7. МНОГОКАНАЛЬНАЯ РАДИОСВЯЗЬ С ИМПУЛЬСНО-АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

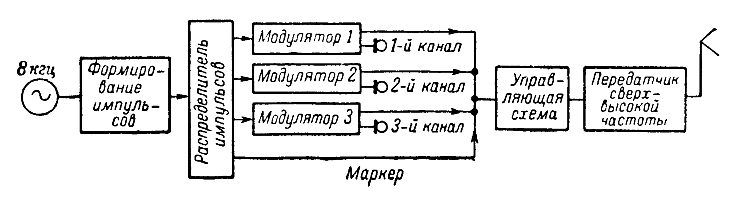
Теперь имеется возможность рассмотреть принцип уплотненной работы простейшей импульсной радиолинии.

На фиг. 25 изображена блок-схема передатчика оконечной станции трехканальной радиолинии. Генератор такто-

вой частоты $f_и$ (8 *кгц*) и блок формирования импульсов остаются такими же, как и в одноканальном передатчике.

Третьим блоком служит распределитель (коммутатор) импульсов. На его вход поступают сформированные импульсы нужной длительности. Число выходов распределителя равно числу каналов радиолинии плюс один. Три выхода соединяются с модуляторами каналов, а один — непосредственно с управляющей схемой радиопередатчика.

Задача распределителя заключается в следующем. Из последовательности импульсов, поступающих после формирования на вход распределителя, должно быть образовано $N+1$ сдвинутых во времени чередующихся последовательностей на отдельных выходах распределителя (где N — число каналов). Допустим, например, что в трех-

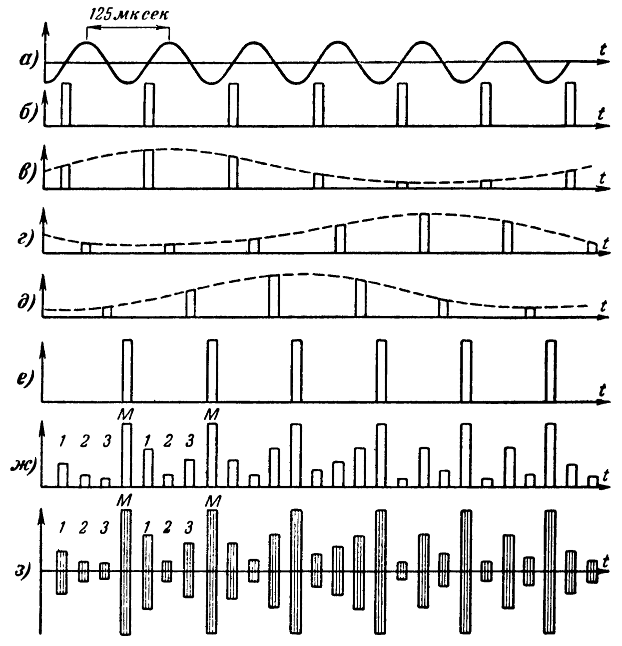


Фиг. 25. Блок-схема передатчика импульсной радиолинии с тремя каналами.

канальной системе импульс, поданный на вход, в некоторый момент появился на выходе от распределителя к первому каналу. На выходе ко второму каналу импульс должен появиться с запозданием на одну четверть тактового периода, т. е. примерно на 31 *мксек*. На выходе к третьему каналу потребуется задержка еще на четверть периода, т. е. по отношению к первому каналу на 62 *мксек*. Четвертый выход посылает с запозданием еще на четверть периода импульс, предназначенный для синхронизации и синфазировки распределителя каналов на приемной станции. Этот последний импульс не подвергается модуляции и часто именуется маркерным импульсом или маркером. Через четверть периода после маркера, т. е. по окончании тактового периода (125 *мксек*), появляется снова импульс на выходе к первому каналу, и весь тактовый период, содержащий три импульса каналов и маркер, повторяется.

Импульсы каналов подвергаются модуляции каждый от микрофона своего абонента в отдельных модуляторах, после чего они поочереди поступают в общее управляющее устройство (вторичный модулятор) передатчика и создают

амплитудно-модулированные радиоимпульсы, излучаемые антенной передатчика. Немодулированные маркерные радиоимпульсы также излучаются в свои очередные моменты. Для того чтобы в приемнике можно было выделить маркерный импульс и направить его в синхронизирующее устройство, он должен отличаться по какому-либо признаку от



Фиг. 26. Процессы, происходящие в трехканальном передатчике с амплитудной импульсной модуляцией.

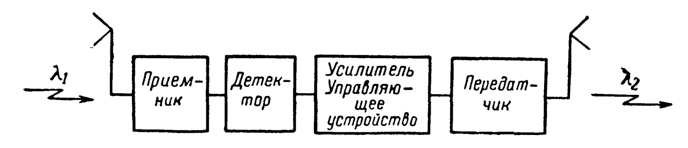
а — синусоида тактовой частоты; *б* — немодулированные видеоимпульсы (формирование импульсов); *в* — амплитудно-модулированные импульсы первого канала; *г* — амплитудно-модулированные импульсы второго канала; *д* — амплитудно-модулированные импульсы третьего канала; *е* — маркерные импульсы; *ж* — импульсы, поступающие в передатчик после управляющей схемы; *з* — излучаемые радиоимпульсы.

всех импульсов каналов; в простейшем примере он берется бо́льшим по амплитуде в сравнении с максимальными значениями импульсов каналов, что позволяет выделять его в приемнике при помощи ограничения «снизу».

На фиг. 26 развернуты физические процессы в схеме описываемого передатчика. Здесь видно, каким образом следует выбирать длительность импульса τ. Тактовый период разделяется на рабочие интервалы каналов плюс маркерный интервал. Между импульсами остаются защит-

ные промежутки времени, благодаря которым уменьшается возможность проникновения импульса данного канала в соседние в случае искажения их формы в тракте радиолинии (т. е. уменьшаются переходные помехи). Чем большим числом каналов уплотняется радиолиния, тем более короткими должны быть импульсы и соответственно более широкой должна быть полоса пропускания приемника.

Далее уместно рассмотреть состав простейшей установки, предназначенной для ретрансляции импульсной радиотелефонной передачи. Если на такую установку не возлагается каких-либо дополнительных задач (например, если нет необходимости производить ответвление одного или нескольких каналов для переговоров из пункта ретрансляции), то состав такой промежуточной станции может быть



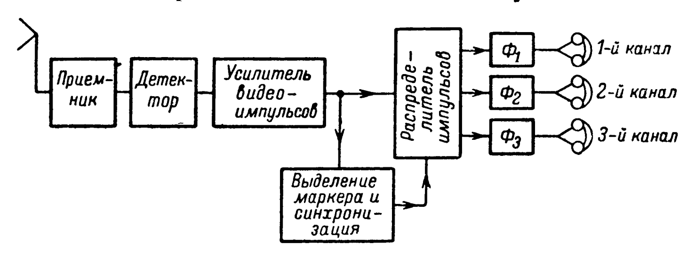
Фиг. 27. Состав ретрансляционной установки.

достаточно простым (фиг. 27). Для этой простейшей установки характерно то, что в ней не нужно разделять каналы, а потому отсутствует какое-либо распределительное устройство, требующее синхронизации. Принятые радиоимпульсы детектируются, превращаясь в видеоимпульсы, и после усиления в управляющей схеме воздействуют на передатчик, который излучает радиоимпульсы на новой несущей частоте в направлении к следующему пункту радиолинии. Взаимное размещение импульсов и законы их модуляции при ретрансляции должны сохраняться.

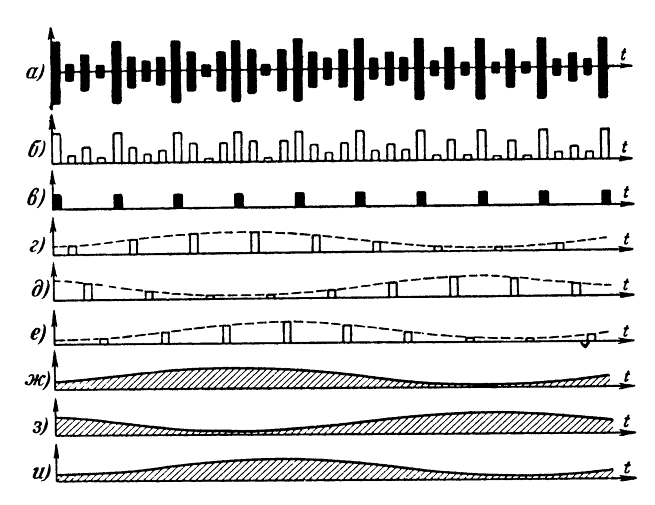
Теперь следует ознакомиться с оконечной приемной установкой, в которой происходят разделение каналов по абонентским выходам и демодуляция каждого канала. Блок-схема простейшего приемного устройства для трехканальной линии с амплитудной модуляцией несущего колебания и импульсно-амплитудной системой уплотнения представлена на фиг. 28.

Эта схема (так же как схема фиг. 22) является обычным широкополосным приемником, полоса пропускания которого достаточна для прохождения импульсов данной длительности. Блок с надписью «Приемник» на схеме фиг. 28 заканчивается выходом усилителя промежуточной частоты.

На вход детектора воздействует напряжение радиоимпульсов всех каналов и маркера (фиг. 29,*а*). Детектор превращает эти радиоимпульсы в видеоимпульсы, которые усиливаются в третьем блоке схемы. Получаемая последо-



Фиг. 28. Блок-схема приемника трехканальной радиолинии.



Фиг. 29. Процессы, происходящие в трехканальном приемнике радиолинии с амплитудной импульсной модуляцией.

а — радиоимпульсы, усиленные приемником и воздействующие на детектор; *б* —последовательность видеоимпульсов после детектора: *в*—маркерные импульсы, выделенные в блоке синхронизации; *г* — амплитудно-модулированные импульсы первого канала; *д* — амплитудно-модулированные импульсы второго канала; *е* — амплитудно-модулированные импульсы третьего канала; *ж*, *з*, *и* — токи низкой частоты, поступающие к абонентам первого, второго и третьего каналов.

вательность чередующихся видеоимпульсов всех трех каналов и маркера представлена на фиг. 29,*б*.

Далее, последовательность видеоимпульсов направляется по двум разветвляющимся цепям: к блоку синхронизации и на вход распределителя (коммутатора). В блоке синхронизации выделяются только маркерные импульсы

(фиг. 29,*в*). Это может быть сделано, например, с помощью ограничителя, так как напряжение маркерных импульсов превышает напряжение любого из импульсов каналов.

Выделенные маркерные импульсы осуществляют синхронизацию приемного распределителя. Задача распределителя заключается в следующем: в момент прихода на его основной вход импульса первого канала должен быть открыт выход к демодулятору (и абонентскому телефону) именно первого канала; в момент прихода импульса второго канала должен открываться выход второго канала и т. д. (фиг. 29,*г*, *д* и *е*).

Конечно, маркерный импульс воздействует и на вход распределителя. Однако в момент его прихода все выходы оказываются закрытыми, и поэтому он используется только для синхронизации работы распределителя в приемной установке с работой распределителя передатчика-корреспондента.

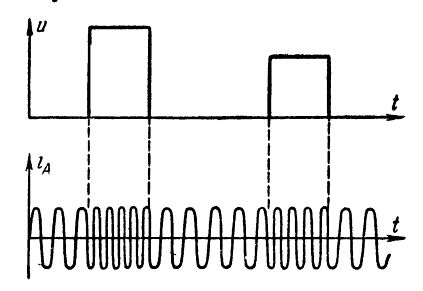
На выходе каждого из каналов включен фильтр-демодулятор (обычно с усилителем по низкой частоте), обеспечивающий питание абонентского телефона током низкой частоты в соответствии с сигналами, которыми модулируются импульсы данного канала в передатчике (фиг. 29, *ж*, *з*, *и*).

Принципы передачи, ретрансляции и приема с уплотнением по времени, описанные в этой главе, могут значительно усложняться в более совершенных радиолиниях. В качестве заключения по этой главе уместно сделать два существенных замечания, относящихся к изложенным схемам.

Первое замечание относится к системе синхронизации. Синхронизация распределителей с помощью последовательности специальных маркерных импульсов невыгодна и не обязательна. Невыгодна она потому, что маркер занимает в тактовом периоде интервал, который мог бы быть использован для дополнительного канала. Она не является обязательной благодаря тому, что сама последовательность импульсов каналов передается с частотой, кратной частоте тактового генератора. Эту частоту можно выделить в синхронизирующем устройстве приемника и путем деления в число раз, равное числу каналов, применить для управления приемным распределителем. Значит, для получения синхронной работы распределителя нет нужды в обязательной посылке маркерных импульсов. Для синфазной же работы приемного распределителя, т. е. для размещения импульсов каналов по выходам соответствующих номеров,

достаточно отметить импульсы одного, например первого, канала каким-либо дополнительным признаком.

Второе замечание относится к помехозащищенности радиолинии. Оба этапа модуляции в описанной системе — модуляция импульсов по амплитуде и амплитудная модуляция радиопередатчика видеоимпульсами — не дают возможности улучшить в приемнике отношение сигнала к шуму. Действительно, ни в тракте радиоимпульсов, ни в тракте видеоимпульсов при амплитудной модуляции недопустимо включение ограничителя, так как он исказил бы форму огибающей кривой импульсов и тем самым внес бы искажение воспроизводимых сигналов. Напомним, что повышенная помехозащищенность в системах с частотным уплотнением достигалась благодаря тому, что радиопередатчик подвергался модуляции по частоте. Из тех же соображений импульсная система с двукратной модуляцией по амплитуде (ИАМ—АМ) не является практически целесообразной.



Фиг. 30. Частотная модуляция радиопередатчика амплитудно-модулированными видеоимпульсами.

Однако временное уплотнение с импульсно-амплитудной модуляцией может явиться основой для разработки помехозащищенных радиорелейных линий, если осуществить частотную модуляцию радиопередатчика с помощью управляющего устройства.

На фиг. 30 показано воздействие амплитудно-модулированных импульсов на частоту излучаемых колебаний (осуществляемое с помощью одной из обычных систем частотной модуляции). Качание радиочастоты должно быть пропорционально высоте управляющих импульсов (на фиг. 30 не показаны реальные соотношения частот).

Возможны и такие системы частотной модуляции, в которых излучение прекращается в промежутках между импульсами, хотя подобное усложнение не всегда будет оправдано экономией мощности сверхвысокой частоты.

Для приема сигналов с амплитудной модуляцией видеоимпульсов и с частотной модуляцией несущего радиоколебания на выходе усилителя промежуточной частоты прием-

ника должны быть включены ограничитель и частотный детектор. Ограничитель обеспечит желательное подавление шумовых помех, а частотный детектор преобразует частотно-управляемый сигнал в последовательность амплитудно-модулированных видеоимпульсов, которые далее распределяются и демодулируются описанным выше порядком.

Итак, система импульсно-амплитудной модуляции с частотной модуляцией несущего колебания (ИАМ—ЧМ) может представлять известный практический интерес. Однако она не является основной современной системой радиорелейной связи с уплотнением по времени.

Но прежде чем описывать другие системы, необходимо пояснить работу отдельных элементов в установках импульсной радиосвязи — тех элементов, которые находят в этих установках общее применение.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

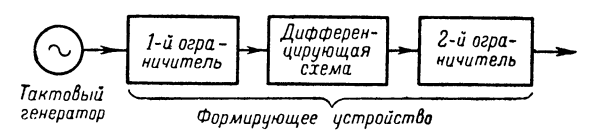
ЭЛЕМЕНТЫ ИМПУЛЬСНОЙ ТЕХНИКИ

8. ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ

Работа импульсного передатчика (см. фиг. 26) начинается с формирования последовательности импульсов требуемой длительности из синусоидального колебания тактовой частоты. Задача формирования импульсов рассматривается обычно в одной из современных отраслей науки, которую называют «импульсная техника». Советским авторам и научным коллективам принадлежит ведущая роль в создании этой науки; практические результаты их исследований используются не только в области связи, но и во многих других областях — таких, как телевидение, телеметрия, радиолокация, телемеханика и др. [Л. 6, 7, 8].

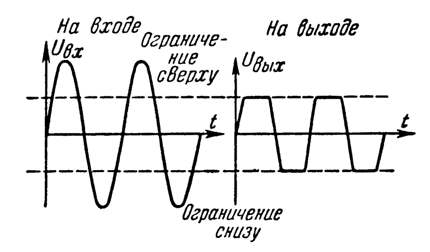
Рассмотрим процессы формирования импульсов заданной длительности применительно к схеме передатчика радиорелейной линии с уплотнением по времени. Первичным источником тактовой частоты должен быть генератор синусоидальных колебаний. Действительно, только для синусоидальных колебаний радиотехника располагает широким выбором средств стабилизации частоты, в том числе и кварцевой стабилизацией. Устойчивость же тактовой частоты — это важнейшее условие осуществления синхронной работы распределителей на передающем и на принимающем концах линии.

Для того чтобы под воздействием синусоидального напряжения получить импульсы заданной формы и длительности, применяется формирующее устройство, в состав которого входят блоки, показанные на фиг. 31 (первый ограничитель, дифференцирующая схема и второй ограничитель).



Фиг. 31. Состав формирующего устройства.

Первым шагом формирования является преобразование синусоидального напряжения в напряжение (или ток) приблизительно прямоугольной формы с длительностью каждого импульса, равной полупериоду синусоиды. Это преобразование, показанное на фиг. 32, выполняется при помощи двустороннего ограничителя (первого ограничителя на фиг. 31).



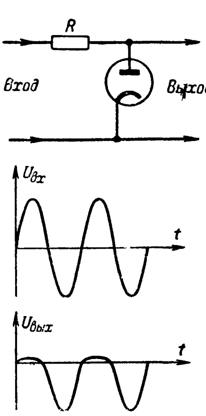
Фиг. 32. Действие двухстороннего ограничителя.

Ограничителем называется такое устройство, у которого напряжение на выходе следует за нарастанием входного напряжения до тех пор, пока не будет достигнут так называемый порог или уровень ограничения, после которого выходное напряжение остается приблизительно постоянным, как бы ни менялось напряжение на входе выше порога ограничения. Как только входное напряжение окажется ниже порога. напряжение на выходе вновь следует за выходным. Принято говорить, что ограничитель срезает ту часть кривой напряжения, которая лежит за порогами ограничения.

Если срезается часть кривой, лежащая выше порога, то мы имеем случай ограничения сверху; если же срезается часть кривой, лежащая ниже порога, то происходит ограничение снизу. На фиг. 32 было показано ограничение сверху и снизу, вследствие чего схема и названа была двусторонним ограничителем,

Выходное напряжение ограничителя не будет синусоидальным; оно имеет на фиг. 32 характер импульсов, чередующихся по знаку и обладающих формой, близкой к трапеции. С увеличением амплитуды входного напряжения наклонный фронт трапеции становится круче, и трапеция все больше приближается к прямоугольнику.

Ограничение обеспечивается такими схемами, которые содержат нелинейные элементы, нарушающие пропорциональность между током и напряжением, как, например, диоды.



Фиг. 33. Схема и процессы работы одностороннего диодного ограничителя.

В качестве одной из возможных схем диодного ограничителя можно рассмотреть схему фиг. 33. Здесь выходное напряжение снимается непосредственно с зажимов диода. Последовательно с диодом включено дополнительное сопротивление R, значительно превосходящее величину внутреннего сопротивления отпертого диода.

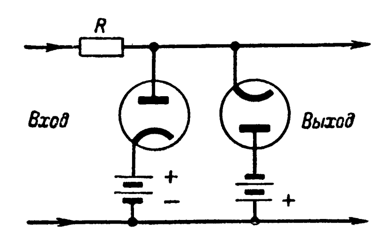
При подаче на вход переменного напряжения диод запирается в течение отрицательного полупериода. Ток в цепи при этом отсутствует, падения напряжения на сопротивлении R нет, и выходное напряжение равно входному. При положительных полупериодах через диод проходит ток и приложенное к схеме напряжение делится между сопротивлением R и внутренним сопротивлением диода. Вследствие большой величины сопротивления R главная часть напряжения будет падать на нем, а незначительная часть — на диоде. Следовательно, на выходных зажимах положительное напряжение окажется близким к нулю. Таким образом происходит ограничение сверху, как показано на фиг. 33.

Если в той же схеме изменить включение электродов диода на обратное, то получится схема ограничителя снизу. В обеих этих схемах можно поместить в цепь диода источник смещающего напряжения и тем самым установить желаемый уровень ограничения, отличающийся от показанного на фиг. 33 нулевого уровня.

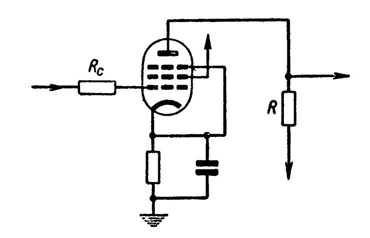
Два диода, имеющих раздельные катоды, позволяют получить в параллельной схеме двустороннее ограничение. Такая схема представлена на фиг. 34; ее работа соответствует диаграмме фиг. 32. Здесь на каждый из анодов дей-

ствует отрицательное смещение. Ток через оба диода не проходит, пока какая-либо из полуволн входного напряжения не превысит величины смещающих напряжений. Если превышение наступило, то ток проходит через один из диодов и вызывает резкое падение напряжения на сопротивлении R; при этом выходное напряжение остается практически на постоянном уровне.

Так можно преобразовать синусоидальное напряжение в импульсы, по форме близкие к прямоугольным. Междуэлектродные емкости диодов и емкости монтажа схемы несколько искажают импульсы, сглаживают их очертания



Фиг. 34. Схема двухстороннего диодного ограничителя.



Фиг. 35. Схема усилителя-ограничителя.

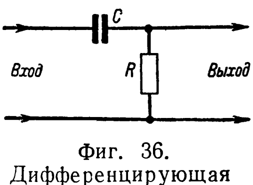
и уменьшают крутизну фронтов; поэтому желательно емкости свести к минимуму.

Наряду с диодами в роли ограничителей применяются и усилительные лампы. Их преимущество заключается в возможности получить большее выходное напряжение при данном напряжении на входе. Ограничитель-усилитель представляет собой каскад реостатного усиления, в котором вследствие выбора определенного режима выходное напряжение пропорционально входному только до порога ограничения, а за порогом остается постоянным.

Для ограничения сверху в цепь сетки усилительной лампы включается значительное сопротивление R_c (фиг. 35), на котором падает напряжение сигнала за положительный полупериод, т. е. с появлением тока сетки. Иначе говоря, цепь сетки работает подобно диодному ограничителю в схеме фиг. 33. Этим устанавливается верхний уровень ограничения импульсов анодного тока.

Ограничение снизу достигается отсечкой анодного тока (запиранием лампы). Желательно выбирать для ограничителя лампу, имеющую резкий нижний изгиб характеристики. Диаграмма выходного напряжения усилителя-ограничителя подобна представленной на фиг. 32.

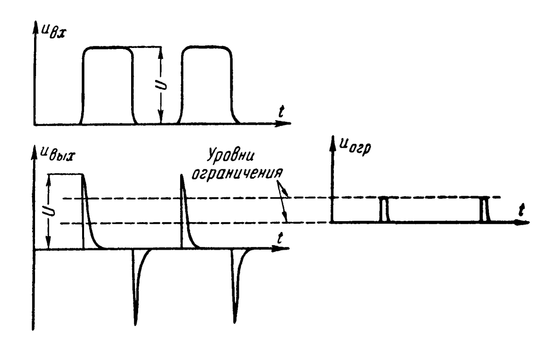
Как было показано на фиг. 31, вторым блоком формирующего устройства является дифференцирующая схема. Название схемы говорит о том, что ее выходное напряжение пропорционально результату дифференцирования входного напряжения, т. е. пропорционально скорости изменения входного напряжения.



Фиг. 36. Дифференцирующая схема.

Дифференцирующая схема является линейной системой, т. е. она не создает новых частот, а лишь изменяет соотношения между амплитудами (и между фазами) отдельных гармонических составляющих последовательности импульсов.

Простейшая дифференцирующая схема представляет собой последовательное соединение емкости C и сопротивления R (фиг. 36). На вход этой схемы подается напряжение от ограничителя в виде импульсов с крутыми фронтами. Выходное напряжение снимается с сопротивления R. Такая схема сходна со схемой переходных элементов (разделительный конденсатор и сеточное сопротивление) в реостатных усилителях, однако здесь величины R и C выбираются



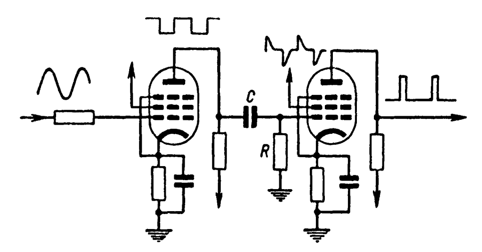
Фиг. 37. Процессы в схеме дифференцирования и в последующем ограничителе.

на совершенно иных основаниях, чем в обычных усилителях. В дифференцирующей схеме произведение RC (именуемое «постоянной времени» схемы) должно быть гораздо меньше, чем в видеоусилителе. Это позволяет конденсатору C, получившему заряд, быстро разряжаться через сопротивление R.

Процессы в дифференцирующей схеме показаны на

фиг. 37. При отсутствии импульсов разряженный конденсатор C представляет собой как бы короткозамкнутый участок цепи. Начало действия (передний фронт) входного импульса создает в цепи RC зарядный ток, для которого единственным сопротивлением в этот момент служит R. Следовательно, и напряжение на выходе дифференцирующей схемы в первый момент достигает скачком полного значения U входного напряжения.

Но конденсатор быстро зарядится, ток i заряда прекратится и, следовательно, напряжение iR на выходе упадет до нуля тем быстрее, чем меньше произведение RC. Значит,



Фиг. 38. Принципиальная схема формирующего устройства.

передний фронт входного импульса создает на выходе положительный импульс малой продолжительности и остроконечной формы.

В момент прекращения импульса на входе (задний фронт) конденсатор разряжается, причем разряд начинается с резкого скачка тока в обратном направлении. В результате этого на выходных зажимах получается короткий импульс отрицательного напряжения (фиг. 37). Таким образом, дифференцирующая цепь преобразует прямоугольные импульсы в короткие остроконечные импульсы с переменными знаками.

Но для управления радиолинией нужны короткие импульсы одного знака и прямоугольной формы, а не остроконечные (см., например, фиг. 26,*б*). Поэтому за дифференцирующей схемой нужно включить еще один двусторонний ограничитель, способный, во-первых, не пропускать импульсы отрицательного знака и, во-вторых, «вырезать» из положительных импульсов прямоугольники желательной длительности. Последняя задача решается должным выбором уровней второго органичителя (фиг. 37, правая часть).

Пример полной схемы формирования импульсов на пентодах дан на фиг. 38. Здесь первый ограничитель-усилитель

получает на вход синусоидальное напряжение тактовой частоты. Величины элементов C и R выбраны такими, что они производят дифференцирование, т. е. преобразование прямоугольных импульсов, создаваемых первым ограничителем, в короткие остроконечные импульсы с переменными знаками. Второй каскад также работает в режиме двустороннего ограничения, обеспечивая на своем выходе короткие импульсы прямоугольной формы. Практически между первым и вторым каскадами могут включаться каскады усиления видеоимпульсов.

Следует оговориться, что задача формирования вообще может решаться и иными путями; но в радиорелейной аппаратуре находит применение изложенный простейший метод.

9. ИМПУЛЬСНО-ФАЗОВАЯ МОДУЛЯЦИЯ

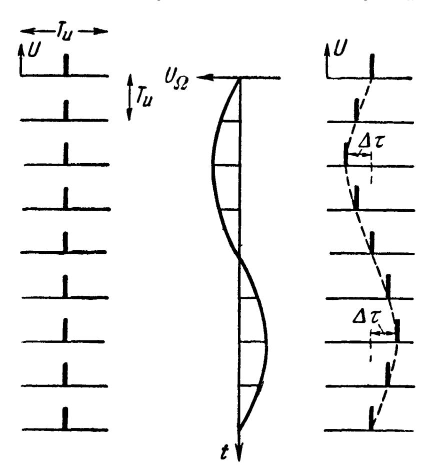
Перейдем к вопросам модуляции видеоимпульсов в аппаратуре радиорелейной связи с уплотнением по времени. Задача модуляции импульсов более характерна для радиорелейной связи, чем для других отраслей импульсной техники.

В предыдущей главе были рассмотрены модуляция импульсов по амплитуде, их демодуляция и применение этого метода в уплотненной радиорелейной аппаратуре. Там же указывалось, что амплитудная модуляция сама по себе не обеспечивает возможностей подавления шумов в приемнике и требует помехозащищенной частотной модуляции несущего колебания передатчика.

Однако среди методов модуляции видеоимпульсов могут быть указаны такие, которые допускают применение ограничителей в видеотракте приемника, т. е. обеспечивают подавление шумов даже при амплитудной вторичной модуляции. Практически наибольший интерес представляют следующие методы модуляции видеоимпульсов, которые обеспечивают подавление шумов в видеотракте: модуляция по фазовому положению (импульсно-фазовая модуляция) и модуляция путем преобразования сигнала в кодовые комбинации (импульсно-кодовая модуляция). В качестве вторичной модуляции для каждого из этих видов может быть применена амплитудная модуляция радиопередатчика (ИФМ—АМ и ИКМ—АМ).

Импульсно-фазовая модуляция представляет собой такой вид модуляции, при котором изменяются фазовые сдвиги импульсов внутри рабочего интервала времени, отведен-

ного на данный канал. Так, например, при действии положительного модулирующего напряжения импульсы возникают с опережением по отношению к моментам возникновения немодулированных импульсов, а при отрицательном напряжении — с отставанием. Смещение (или девиация) импульсов во времени должно быть пропорционально мгновенному значению модулирующего напряжения. Исчисляется девиация или в микросекундах, или в градусах (т. е. в долях тактового периода).



Фиг. 39. Графики, поясняющие импульсно-фазовую модуляцию.

Наглядная картина импульсно-фазовой модуляции дана на фиг. 39. Левая колонка представляет немодулированную последовательность импульсов одного канала; здесь ось времени разрезана на отдельные тактовые периоды, которые изображены один под другим. Импульсы подаются точно в середине тактовых периодов, а потому оказываются на этой фигуре расположенными строго один под другим.

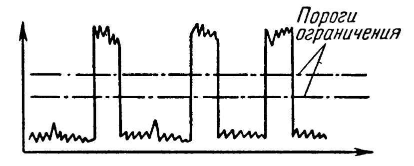
Между концами предыдущего и последующего периодов проходит время T_u. Это дает вертикальный масштаб времени, на основании чего во второй колонке развернуто по вертикали модулирующее напряжение звуковой частоты (здесь — один период).

Действие модулирующего напряжения на последовательность импульсов показано в виде третьей колонки. Верхний импульс остался в прежней фазе (в центре тактового периода), так как в момент его появления мгновенное значение модулирующего напряжения равнялось нулю. Далее импульсы получают опережения по фазе, пропорциональные соответствующим мгновенным значениям положительного напряжения. Наибольшую девиацию получил третий импульс, положение которого определяется амплитудой модулирующего напряжения. Пятый импульс вновь оказался в центре периода, так как модулирующее напряжение переходит через нуль. Далее, в соответствии с отрицатель-

ными знаками модулирующего напряжения импульсы получают запаздывание по фазе.

На фиг. 39 девиация $\Delta\tau$ составляет больше четверти тактового периода. Но это значение приходится ограничивать, если за тактовый период нужно передать импульсы нескольких каналов; естественно, что импульс данного канала не должен выходить из границ своего рабочего интервала.

Возможность подавления шумов в приемнике при сигналах с импульсно-фазовой модуляцией обеспечивается включением двустороннего ограничителя в тракт усиления видеоимпульсов (между детектором и распределителем каналов). Применение ограничителя не искажает в этом случае модуляции, так как ограничитель не изменяет фазовых



Фиг. 40. Подавление шумов ограничителем видеоимпульсов.

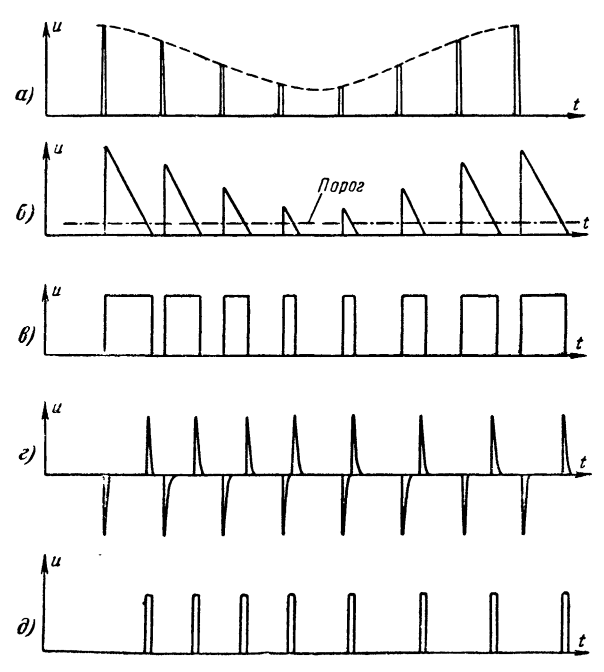
Фиг. 41. Подавление шумов при наклонных фронтах видеоимпульсов.

сдвигов импульсов (фиг. 40). Шумы создают хаотическое напряжение, которое в случае прямоугольной формы импульсов действует в интервалах и налагается на вершины импульсов. Если импульсы имеют высоту, более чем вдвое превосходящую вероятные пики напряжения шумов, то имеется возможность выбрать пороги ограничения так, что и в интервалах, и на вершинах шумы будут срезаны. При этом импульсы уменьшатся по высоте, что восполняется видеоусилителем.

Практически импульсы не могут быть строго прямоугольными. Проходя через тракт радиолинии с широкой, но все же ограниченной полосой пропускания, импульсы искажаются и фронты их становятся более пологими. В этом случае ограничение не обеспечивает полного подавления шумов (фиг. 41). Однако превосходство сигнала над шумом и в этом случае возрастает примерно в такое же число раз, как при частотной модуляции несущего колебания в схемах с уплотнением по частоте.

В качестве одного из возможных способов осуществления импульсно-фазовой модуляции можно указать преобра-

зование импульсно-амплитудной модуляции в импульсно-фазовую. На фиг. 42 изображены процессы такого преобразования в элементах соответствующей схемы. На вход преобразующего устройства воздействуют импульсы, модулируемые по амплитуде абонентским разговором (фиг. 42,*а*). Способ такой модуляции описывался выше. Каждый импульс мгновенно заряжает конденсатор, который разря-



Фиг. 42. Процессы преобразования импульсно-амплитудной модуляции в импульсно-фазовую.

жается током неизменной силы (например, через пентод), благодаря чему фронт разряда получается линейным и основания треугольных импульсов оказываются пропорциональными их высотам (фиг. 42,*б*).

Ограничитель вырезает далее нижнюю часть треугольных импульсов, создавая импульсы, изменяющиеся по длительности (по ширине). Перемещается задний фронт этих импульсов (фиг. 42,*в*). Затем импульсы, модулированные по длительности, подвергают дифференцированию. Создаются кратковременные импульсы, переменные по знаку

(фиг. 42,*г*), причем последовательность, не изменяющая фаз, показана отрицательной, а последовательность, изменяющая фазы в соответствии с перемещением задних фронтов дифференцируемых импульсов, изображена положительной. Применив еще один ограничитель, отрезающий отрицательные и калибрующий положительные импульсы, получают последовательность импульсов, модулированную по фазе (ИФМ). Эта последовательность (фиг. 42,*д*) может быть использована для управления колебаниями радиопередатчика.

Существуют и другие способы импульсно-фазовой модуляции; ниже будет описана установка с применением, например, электронно-лучевой системы модуляции. Во всех случаях результат должен заключаться в смещении импульсов пропорционально мгновенным значениям модулирующего напряжения.

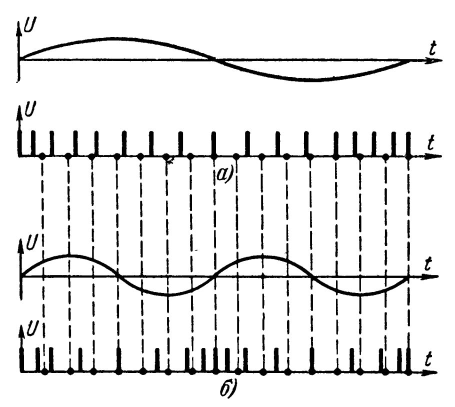
Перейдем к процессам в приемной установке радиолинии при импульсно-фазовой модуляции. Собственно радиоприемник с детектором радиоимпульсов не должен иметь никаких принципиальных отличий от радиоприемника и детектора для импульсно-амплитудной системы (см. фиг. 22). В составе видеоусилителя должен быть двусторонний ограничитель, срезающий шумы. Возникает вопрос: можно ли из последовательности импульсов, модулируемых по фазовому положению, выделить фильтром составляющую звуковой частоты?

Оказывается, что в составе последовательности импульсов, модулируемых по фазовому положению, содержится составляющая звуковой частоты. Пояснить это простейшим способом можно с помощью фиг. 43, где изображены модулирующее напряжение и модулированные им по фазе импульсы. Каждый импульс смещен по фазе от «нейтральной» позиции на отрезок, равный (на фиг. 43) соответствующему мгновенному значению модулирующего напряжения. При этом на фиг. 43,*а* показана модуляция низким тоном, а на фиг. 43,*б* — высоким тоном. Присматриваясь к размещению импульсов, можно заметить, что они образуют «разрежения» и «сгущения», причем **падающему участку кривой звукового напряжения соответствует «разрежение»**, а **восходящему — «сгущение» импульсов**.

Если найти среднее значение напряжения импульсов за тактовый период, то окажется, что оно больше на участке «сгущения» и меньше на участке «разрежения». Следова-

тельно, среднее значение изменяется по звуковому закону, т. е. в спектре модулированной по фазе последовательности импульсов есть составляющая звуковой частоты, которая может быть обнаружена в телефоне путем демодуляции при помощи низкочастотного фильтра.

Однако такая демодуляция очень невыгодна. Во-первых, при фазовой модуляции импульсы приходится брать более короткими, чем при амплитудной, чтобы внутри рабочих интервалов оставить возможности перемещения импульсов во времени. При более коротких импульсах будет уменьшена и амплитуда напряжения звуковой частоты. Во-вторых,



Фиг. 43. Фазовая модуляция импульсов низким и высоким тоном.

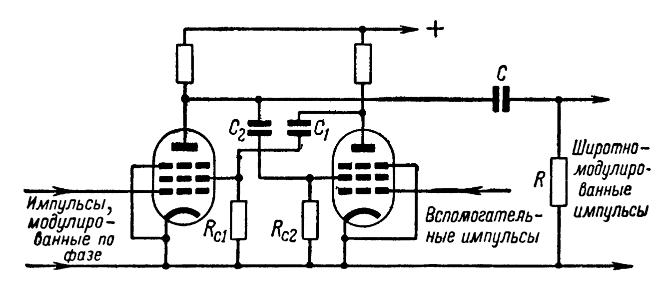
и это самое главное, сложный разговорный звук при такой демодуляции окажется искаженным, так как амплитуда звукового напряжения при демодуляции пропорциональна не только силе звука, производящего в передатчике модуляцию, но и частоте этого звука. Это видно из сопоставления графиков *а* и *б* на фиг. 43: при высоком тоне модуляции разрежения и сгущения резче, заметнее, чем при низком тоне. Значит, и амплитуда после демодуляции окажется для высокого тона больше, чем для низкого. Иначе говоря, в случае такой простейшей демодуляции высокие ноты будут звучать громче, чем низкие, и разборчивость передаваемой речи снизится.

Указанные причины заставляют отказаться от непосредственной демодуляции в системе с импульсно-фазовой модуляцией и усложнить схему приемника, введя **предварительное преобразование** (конверсию) **фазо-**

вой модуляции в модуляцию по амплитуде или же в модуляцию по длительности. Эти последние виды модуляции позволяют затем выделить звуковую частоту без искажений при помощи простого фильтра-демодулятора.

Пример преобразования импульсно-фазовой модуляции в импульсно-амплитудную встретится ниже, при описании одной из систем радиорелейной связи. С принципом же преобразования модуляции импульсов по фазе в модуляцию по длительности (по ширине) ознакомимся сейчас.

На фиг. 44 показана схема, способная осуществить такое преобразование. Две лампы, работая совместно, имеют лишь один выход (с анодной нагрузки левой лампы на со-



Фиг. 44. Схема для преобразования модуляции импульсов по фазе в модуляцию по длительности.

противление R), но два разных входа (левый и правый) на управляющие сетки соответствующих ламп.

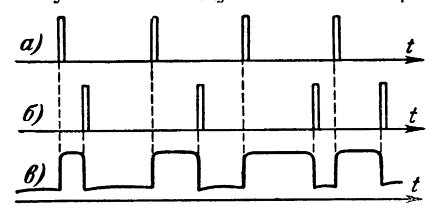
Если на правый вход подать кратковременный импульс напряжения, то в анодной цепи правой лампы появится ток, вследствие чего понизится напряжение на ее аноде. Это позволит конденсатору C_1 разряжаться через сопротивление R_{c1}, создавая на второй сетке левой лампы отрицательное напряжение смещения. Левая лампа окажется запертой, вследствие чего напряжение на ее аноде возрастет скачком. Это и будет началом импульса на выходе.

С того же момента конденсатор C_2 будет заряжаться повысившимся напряжением, а ток заряда создаст на сопротивлении R_{c2} положительное напряжение смещения, поддерживающее анодный ток в правой лампе также и по окончании импульса внешнего напряжения на правом входе.

Пусть на левый вход кратковременный внешний импульс подан прежде, чем на конденсаторах C_1 и C_2 достиг-

нуто установившееся значение напряжений. Левая лампа пропустит анодный ток, из-за чего упадет напряжение на ее аноде и, следовательно, закончится импульс напряжения на выходе. Теперь лампы меняются ролями: конденсатор C_2 разряжается, а C_1 заряжается. Такое состояние поддерживается вплоть до момента воздействия нового внешнего импульса на вход правой лампы. Коротко можно описанный процесс охарактеризовать так: импульс справа включает выходное напряжение, а импульс слева выключает его.

Этим свойством схемы пользуются для преобразования импульсной модуляции. На правый вход воздействует последовательность импульсов тактовой частоты, сформированных в блоке синхронизации и не подвергающихся модуляции по фазе. Каждый из этих импульсов своим передним фронтом включает выходное напряжение; эти вспомогательные импульсы можно назвать «зажигающими». На левый вход воздействуют принимаемые импульсы канала, модулированные по фазе. Они являются для выхода схемы «гасящими», т. е. каждый из них своим передним фронтом вызывает резкий спад выходного напряжения. Следовательно, на выходе схемы образуется импульс, длящийся от момента подачи зажигающего до момента подачи гасящего импульса.



Фиг. 45. Процесс преобразования фазовой модуляции импульсов в модуляцию по ширине.

а — вспомогательные импульсы; *б* — импульсы, модулированные по фазе; *в* — импульсы, модулированные по ширине.

Гасящие импульсы в соответствии с фазовой модуляцией получают то или иное смещение во времени. Поэтому выходные импульсы имеют различную продолжительность, т. е. оказываются модулируемыми по длительности. Так преобразуется фазовая модуляция импульсов в широтную. На фиг. 45,*а* изображена последовательность вспомогательных импульсов, размещенных во времени равномерно и воздействующих на правый вход. На фиг. 45,*б* показаны импульсы канала, получающие фазовые сдвиги по закону модуляции. Наконец, фиг. 45,*в* представляет импульсы на выходе преобразующей схемы, модулируемые по длительности и допускающие эффективную демодуляцию при помощи фильтра нижних частот.

Иногда оказывается удобнее изменить схему так, чтобы

«зажигающими» были импульсы канала, а «гасящими» — импульсы вспомогательные. Тогда получится модуляция по длительности перемещением переднего фронта. Демодуляция и в этом случае выполняется с помощью фильтра нижних частот.

Итак, импульсно-фазовая модуляция в отличие от импульсно-амплитудной обеспечивает возможность подавления шумов в видеотракте приемника с помощью двустороннего ограничителя. Благодаря этому вторичная модуляция (управление колебаниями радиопередатчика) может быть наиболее простой — модуляцией по амплитуде. Такая система ИФМ — АМ находит практическое применение в радиорелейных линиях.

10. ИМПУЛЬСНО-КОДОВАЯ МОДУЛЯЦИЯ

Все описываемые выше системы радиорелейной связи, обеспечивающие повышенную помехозащищенность (ОМ — ЧМ, ИАМ — ЧМ, ИФМ — АМ), не дают возможности полного устранения шумов. Так, при всех видах частотной модуляции несущего колебания не устраняется паразитная шумовая модуляция по частоте; при импульсно-фазовой модуляции не устраняется эффект смещения наклонного фронта импульсов шумами. Если радиолиния имеет большую протяженность и, следовательно, большое число ретрансляций, то мощности шумов, возникающих в каждом из приемников, суммируются, накопляются, и для их подавления требуется повышать мощности передатчиков.

Именно это соображение заставило искать виды модуляции, которые обеспечили бы устранение влияния шумов не только на вершинах и в интервалах, но и на наклонных фронтах. В качестве такого вида модуляции была предложена импульсно-кодовая система. Признаком последовательности импульсов, который изменяется в соответствии с передаваемым сигналом, здесь служит не амплитуда, не фазовая позиция импульсов, а само н а л и ч и е и л и о т с у т с т в и е и м п у л ь с о в. Можно сказать, что модуляция ведется по способу «есть импульс — нет импульса», или, иначе говоря, имеется некоторая полная кодовая группа импульсов, и в ней под влиянием модулирующего напряжения образуются те или иные пропуски. Такова сущность передачи по этой системе.

Не вникая пока в смысл кодирования, поясним в первую очередь, почему система «есть — нет» способна дать высокую помехоустойчивость. Мы знаем, что действие шумовых

помех состоит в искажении формы принимаемых импульсов. Импульсно-кодовый принцип позволяет сохранить неискаженный прием сигналов даже и в том случае, когда форма принимаемых импульсов искажена шумами, но импульсы не пропадают и не дополняются лишними импульсами. Это достигается тем, что в приемной установке, подвергающейся действию импульсов сигнала, одновременно генерируется своя последовательность регулярных импульсов, соответствующая предельному случаю — тому, что мы назвали выше «полной кодовой группой»; эта последовательность управляется системой синхронизации. Но к выходу приемника эта последовательность пропускается не полностью. Проходят лишь те импульсы, которые совпадают по времени с импульсами принимаемого сигнала. Импульс сигнала открывает путь местному импульсу. Значит, модуляция пропусками, присущая сигналу, сохранится и на выходе приемника; однако местные импульсы, сформированные в самом приемнике, не подвергаются искажающему воздействию помех; искажающее действие возможно лишь в том случае, если помехи создают ложные импульсы или вызывают исчезновение посылаемых передатчиком импульсов.

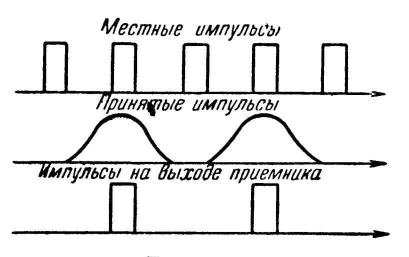
Этот принцип поясняется на фиг. 46. Верхний график изображает регулярную последовательность местных импульсов, второй график — принятую кодовую комбинацию, которая содержит в данном случае только два импульса, причем импульсы эти подверглись искажениям за счет ограниченной полосы пропускания и за счет действия шумов. На нижнем графике оставлены лишь те из местных импульсов, для которых принятые импульсы открыли путь к выходу приемника.

Такая возможность управления местными импульсами обеспечивается лишь при условии превосходства сигнала над шумом на входе приемника. Система, в которой искажение возможно только при исчезновении передаваемого или при появлении ложного импульса, имеет в принципе высокую помехоустойчивость и устраняет накопление шумов вдоль трассы радиолинии при многократных ретрансляциях. Именно эта особенность привлекает внимание к импульсно-кодовой системе, несмотря на то, что схемы, физические процессы и детали аппаратуры получаются в этой системе сложнее, чем в других [Л. 9].

Теперь обратимся к принципу кодирования передаваемых сообщений. Каким образом напряжение звуковой ча-

стоты, создаваемое микрофоном абонента, можно передать последовательностью кодовых комбинаций, составленных из одинаковых (стандартных) импульсов?

Первый шаг такого преобразования — «разрезание» кривой первичного напряжения сигнала на серию знакопеременных импульсов, следующих друг за другом с тактовой частотой. Этот процесс показан на фиг. 47. Мы получаем амплитудно-модулированные импульсы, подобно тому как получали их, например, на фиг. 4. Эта операция может быть выполнена как в схеме с обычными электронными лампами, так и с помощью специального электронного переключателя. Частота следования импульсов, как и в описанных выше системах, должна быть примерно 8 000 *гц*.



Фиг. 46. Действие импульсов сигнала в приемнике импульсно-кодовой связи.

Фиг. 47. Преобразование сигнала в амплитудно-модулированные импульсы.

Следующий шаг преобразования — «кодировка» амплитудно-модулированных импульсов. Высота каждого импульса с учетом его знака должна быть «выражена» той или иной комбинацией стандартных импульсов. Заранее устанавливается предельно большое число импульсов в кодовой группе; чем точнее необходимо передать кодируемые импульсы, тем большее число кодирующих импульсов должно быть в кодовой группе и тем точнее будет воспроизведен звуковой сигнал в приемнике. Для передачи высокого качества применяют группы, содержащие семь импульсов (семизначный код); для передачи, удовлетворительной по разборчивости речи, ограничиваются пятью импульсами в группе (пятизначный код).

Предположим, что решено воспользоваться пятизначным кодом, т. е. наибольшее число стандартных импульсов в кодовой группе равно пяти. Одна такая группа должна передать («выразить») высоту одного импульса из амплитудно-модулированной последовательности, полученной

в предыдущем этапе преобразования. Кодовые группы следуют одна за другой с той же частотой, как и кодируемые импульсы. Если система имеет несколько каналов, то между кодовыми группами одного канала остается время для передачи кодовых групп других каналов.

Комбинация импульсов, фактически передаваемая в составе кодовой группы, выражает высоту кодируемого импульса. Пятизначный код допускает $2^5 = 32$ различные комбинации. Следовательно, высота каждого первичного импульса «выражается» кодовой группой с погрешностью, не превышающей $\frac{1}{32}$ от расстояния *АБ* между вершинами двух импульсов с разными знаками и с наибольшей возможной величиной (фиг. 47). Каждый из импульсов группы имеет свою собственную «цену», выражаемую в долях от указанного максимального значения *АБ*.

Наибольший из возможных отрицательных первичных импульсов (т. е. нижний уровень сигнала) передается полным отсутствием импульсов в соответствующей кодовой группе. Для передачи всех остальных значений остается 31 комбинация.

Импульсам кодовой группы нужно дать такие «цены», которые в комбинациях позволили бы передать («выразить») высоту любого первичного импульса в пределах от $\frac{1}{31}$ до 1. Первый импульс кодовой группы имеет «цену» в $\frac{1}{31}$, второй — в $\frac{2}{31}$, третий — в $\frac{4}{31}$, четвертый — в $\frac{8}{31}$ и пятый — в $\frac{16}{31}$. Такой набор «цен» позволит решить поставленную задачу. Так, для передачи максимального положительного импульса ценой в 31 единицу $\left(\frac{31}{31}\right.$, т. е. наибольшее из возможных положительных значений$\left.\right)$ потребуется иметь в кодовой группе все пять стандартных импульсов.

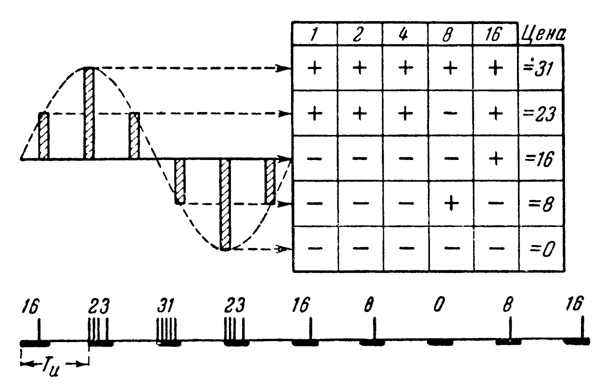
Действительно, сумма их «цен» дает

$$1 + 2 + 4 + 8 + 16 = 31.$$

Для передачи нулевого уровня кривой фиг. 47 (отсутствие очередного первичного импульса, т. е. переход модулирующего напряжения через нуль) требуется, очевидно,

16 единиц. Этот уровень передается, следовательно, посылкой только одного пятого импульса в составе комбинации. Передача максимального отрицательного импульса осуществляется полным отсутствием импульсов, т. е. пропуском всей кодовой группы.

На фиг. 48 изображен период напряжения звуковой частоты, представленный амплитудно-модулированными импульсами, «цены» которых показаны в таблице справа. В той же таблице помечены знаком + номера импульсов в кодовых группах, подлежащие передаче. Внизу развер-



Фиг. 48. Пример кодированной передачи амплитудно-модулированных импульсов.

нуты по времени соответствующие кодовые комбинации. Между группами данного канала есть возможность разместить группы других каналов.

Разумеется, длительность каждого импульса в кодовой группе должна быть достаточно малой, чтобы за один период $T_и$ тактовой частоты могло разместиться $5N$ импульсов, где N — число каналов. Однако при данном числе каналов полоса пропускания тракта импульсно-кодовой связи оказывается такой же, как и для импульсно-фазовой модуляции, ибо кодовая система позволяет брать более узкую полосу при заданной длительности импульса, допуская бóльшие искажения формы импульсов. Благодаря этому и уровень шумов на один интервал ретрансляции имеет в импульсно-кодовой системе обычное значение.

Сформированные по такому принципу кодовые импульсы управляют колебаниями передатчика, производя вто-

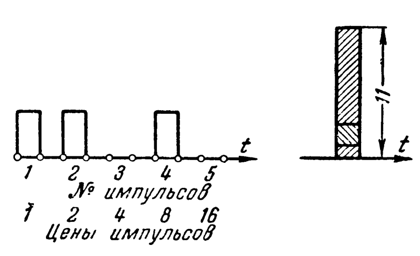
ричную модуляцию по амплитуде (или иногда по частоте). В ретранслирующих установках кодовые импульсы восстанавливают свою форму (регенерируются) и излучаются на другой волне вновь в виде тех же комбинаций. Если уровень помех достаточно меньше уровня ограничения приемника ретранслирующей станции, то никаких новых комбинаций ретрансляционный передатчик не может излучать, и поэтому процессы ретрансляции не связаны с накоплением шумов.

В приемнике оконечной станции необходимо выполнить обратные операции по сравнению с операциями в передатчике начальной установки радиолинии, т. е. превратить каждую кодовую группу в один импульс, высота которого равняется сумме «цен» переданных импульсов (это — процесс декодирования), а затем при помощи фильтра нижних частот выделить из полученных амплитудно-модулированных импульсов разговорную (низкочастотную) составляющую сигнала (это — процесс демодуляции). Разумеется, между этими двумя процессами в многоканальном приемнике должно быть произведено распределение импульсов по отдельным каналам.

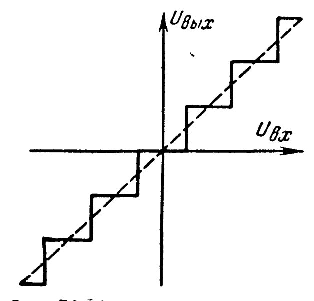
Процесс декодирования выполняется устройствами, которые можно отнести к классу «накопительных» электрических схем. В этом устройстве конденсатор-накопитель заряжается последовательно импульсами кодовой группы, причем каждый переданный импульс создает на конденсаторе напряжение, пропорциональное «цене» этого импульса в кодовой группе; напряжения, созданные отдельными импульсами, суммируются, и к моменту окончания группы напряжение на конденсаторе равно сумме «цен» всех импульсов, переданных в составе группы. Но эта сумма, как мы знаем, в свою очередь пропорциональна высоте кодируемого импульса (при отсчете высоты от отрицательного максимума). Следовательно, если с конденсатора декодирующей схемы снимать напряжение в конце каждой группы, то будет получена последовательность амплитудно-модулированных импульсов, содержащих составляющую частоты первичной модуляции. На фиг. 49 изображена группа, содержащая импульсы *1*, *2* и *4*, «цены» которых 1 единица, 2 единицы и 8 единиц; справа показано напряжение на конденсаторе, пропорциональное сумме «цен» трех импульсов, т. е. 11 единицам.

Практические системы кодирования и декодирования будут изложены ниже.

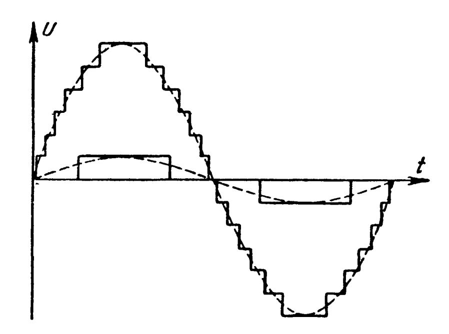
В заключение обзора основных элементов и процессов импульсно-кодовой системы связи следует остановиться на той особенности этой системы, которая определяет необходимую «значность» кода, т. е. номинальное число импульсов в кодовой группе. Выше упоминалось о том, что оценка высоты первичных импульсов через кодовые группы в общем случае производится с погрешностью, так как мгновенное значение, лежащее между двумя условными уровнями, передается как ближайший (верхний или нижний) уровень. Зависимость между первичным напряжением звукового сигнала и оценкой этого напряжения через кодовые группы (а следовательно, и напряжением на выходе декодирующего устройства) выражается ступенчатым графиком, максимальное число ступеней которого равно числу кодовых комбинаций (при пятизначном коде $2^5 = 32$ ступени, при семизначном коде $2^7 = 128$ ступеней). Эта зависимость изображена на фиг. 50.



Фиг. 49. Пример преобразования кодовой группы в декодированный импульс.



Фиг. 50. Зависимость высоты импульсов на выходе декодирующего устройства от напряжения первичного сигнала.



Фиг. 51. Ступенчатая передача сильного и слабого звуков.

Такая ступенчатая зависимость показывает, что погрешность передачи мгновенных напряжений звука может достигать половины высоты ступени. Чем больше амплитуда кодируемого напряжения и чем больше число ступеней

(т. е. значность кода), тем точнее воспроизводится сигнал. На фиг. 51 показана передача сильного и слабого звуков. Сильный звук воспроизводится большим числом ступеней, т. е. более точно; слабый звук, передаваемый только двумя ступенями (нуль и единица), воспроизводится неточно.

Звуковое напряжение, передаваемое ступенчатым графиком, можно рассматривать как сумму двух напряжений — чисто синусоидального (пунктир на фиг. 51) и зигзагообразного. Зигзагообразное напряжение создает в телефоне приемника шум, мешающий приему. Этот специфический вид помехи свойственен только импульсно-кодовой связи и называется ее собственным шумом или шумом квантования. Он проявляется только в процессе декодирования и демодуляции. Если промежуточные установки радиорелейной линии ретранслируют кодовые группы, то такой шум вдоль линии не накопляется.

Для уменьшения такого шума требуется повышать значность кода; однако это усложняет схему и конструкцию установок при данном числе каналов. Семизначный код оказывается вполне достаточным даже при высоких требованиях к качеству приема, если уровни на фиг. 50 сделать неодинаковыми: для слабых звуков — более низкими, для сильных — более высокими. Такая возможность реализуется в импульсно-кодовой аппаратуре, пример которой будет показан ниже.

Аппаратура с кодовой модуляцией видеоимпульсов и с амплитудной модуляцией несущей частоты (ИКМ — АМ), а иногда и с частотной модуляцией несущей частоты (ИКМ — ЧМ) способна обеспечить хорошую помехозащищенность радиорелейной линии, а потому представляет практический интерес для радиорелейной связи.

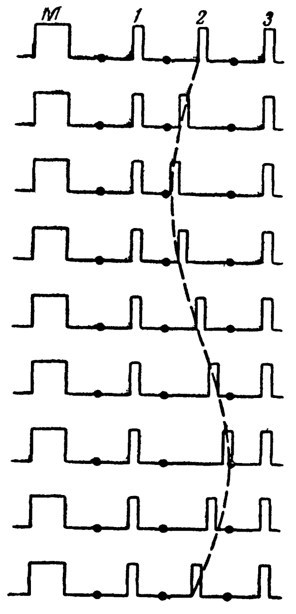
11. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О СПОСОБАХ СИНХРОНИЗАЦИИ

Задача синхронизации распределителя импульсов в приемном устройстве была поставлена в предыдущих главах. Решалась эта задача, например, посылкой с передающей станции и выделением на принимающей станции маркерных (синхронизирующих) импульсов, которые отличались бы по какому-либо признаку от импульсов сигнала. В частности, при импульсно-амплитудной модуляции синхронизирующие импульсы (маркеры) характеризуются превышением над любым импульсом каналов.

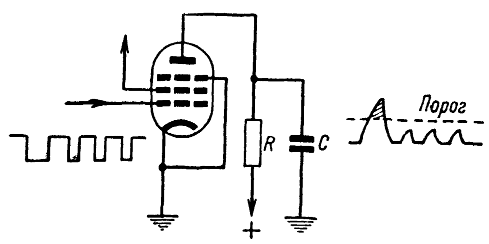
При импульсно-фазовой модуляции простейшим отличительным признаком маркера является увеличенная дли-

тельность. Так, например, при длительности импульса канала 0,4 *мксек* маркерный импульс может иметь длительность 2 *мксек*.

На фиг. 52 показаны тактовые периоды импульсов для трехканальной линии с импульсно-фазовой модуляцией. Лишь один из трех каналов (второй) изображен подвергающимся модуляции. Маркерные импульсы имеют четырех-пятикратную ширину по сравнению с импульсами каналов. Естественно, что в передающем устройстве для формирования маркерных импульсов должна применяться схема с иными параметрами, чем для импульсов каналов.



Фиг. 52. Тактовые периоды трехканальной радиолинии с синхронизирующими импульсами.



Фиг. 53. Схема и процессы работы селектора маркерных импульсов.

Наиболее ответственным элементом системы синхронизации следует считать устройство, выделяющее маркерный импульс для синхронизации в приемной установке (см., например, фиг. 28). Если в случае амплитудной модуляции селектором импульса мог служить ограничитель «снизу», так как маркерный импульс отличался увеличенной высотой, то при фазовой модуляции импульсов ограничителю должно предшествовать специальное устройство, преобразующее различие по ширине в различие по высоте.

Примером схемы селектора маркерных импульсов может служить усилитель с большой постоянной времени цепи анода (фиг. 53). В этом каскаде включен конденсатор *C* параллельно сопротивлению нагрузки *R*. На вход каскада воздействует вся последовательность принятых импульсов (после детектирования, двустороннего ограничения и необ-

ходимого усиления). На сетку лампы эти импульсы подаются с отрицательным знаком; каждый импульс по величине своего напряжения способен запереть лампу, т. е. прекратить ее анодный ток. Прекращение анодного тока приводит к повышению напряжения на аноде. Но это повышение не может произойти мгновенным скачком, так как конденсатор C, заряжаясь от батареи через большое сопротивление R, замедлит нарастание напряжения.

Если постоянная времени заряда (произведение RC) достаточно велика, то рост напряжения приблизительно пропорционален времени. Вследствие того что маркерный импульс длится дольше сигнального, напряжение, созданное маркерным импульсом на выходе, будет обладать бо́льшим максимумом, чем напряжение импульсов каналов (фиг. 53).

По окончании импульса лампа отпирается, и анодное напряжение падает вместе с разрядом конденсатора. При этом конденсатор разряжается быстрее, чем он заряжался, так как разряд происходит через сравнительное малое внутреннее сопротивление лампы.

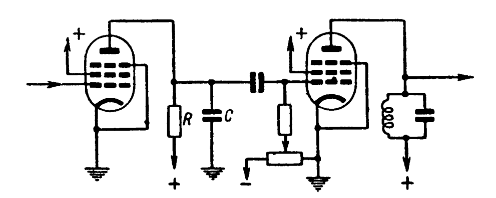
В результате таких процессов на выходе схемы создается последовательность импульсов искаженной формы, приближающейся к форме зубцов пилы, причем высота маркерных импульсов превосходит высоту импульсов каналов.

Если вслед за таким усилителем включить ограничитель, имеющий только нижний порог, как показано на фиг. 53, то в дальнейшем тракте синхронизации сохранятся лишь заштрихованные верхушки маркерных импульсов, а импульсы каналов будут устранены. Именно сочетание специального усилителя с ограничителем и составляет в целом маркерный селектор.

Выделенные маркерные импульсы, частота повторения которых равна тактовой частоте, используются для управления распределителем каналов. При этом разные виды распределителей требуют различных форм синхронизирующего напряжения: прямоугольной, пилообразной или же синусоидальной. Формирование прямоугольных импульсов уже описывалось ранее; пилообразные импульсы формируются из коротких прямоугольных путем периодических зарядов или разрядов конденсатора через сопротивление, подобно тому как было показано, например, на фиг. 42,*б* или на фиг. 53. Синусоидальное напряжение выделяется из последовательности маркерных импульсов с помощью колебательного контура, настроенного на тактовую частоту.

На фиг. 54 изображена схема маркерного селектора, дающая на выходе синусоидальное напряжение тактовой частоты (8 000 *гц*). Первый каскад представляет собой описанный выше усилитель, преобразующий различие импульсов по длительности в различие по высоте. Второй каскад, имеющий на сетке лампы отрицательное смещение, обеспечивает ограничение импульсов снизу. В цепи ее анода имеются только маркерные импульсы остроконечной формы.

Нагрузкой цепи анода лампы служит колебательный контур, настроенный на тактовую частоту (8 000 *гц*). Эта частота имеется в составе выделенных импульсов (основная гармоника), и напряжение этой частоты является выходным напряжением схемы, тогда как высшие гармоники



Фиг. 54. Схема селекции тактовой частоты.

фильтруются контуром. Чем выше добротность контура, тем совершеннее фильтрация.

Описанная схема синхронизации, как и все другие системы, в которых применяется посылка маркерного импульса, невыгодна тем, что маркерный импульс занимает часть тактового периода, уменьшая возможное число каналов. В связи с этим описывались такие системы, в которых посылка специального синхронизирующего импульса отсутствует. Здесь блок синхронизации содержит в своем составе колебательный контур (или другой вид фильтра), настроенный на частоту повторения всех импульсов каналов. Далее в схеме синхронизации имеются делители частоты, уменьшающие в необходимое целое число раз частоту колебаний на выходе фильтра.

В качестве делителей частоты применяются генераторы местных колебаний, для частоты которых синхронизирующее колебание является высшей гармоникой. Например, если частота местного генератора есть приблизительно f_u, то при подаче на его вход дополнительного напряжения частоты Nf_u частота генератора поддерживается строго равной f_u. После этого необходимо лишь сформировать из выходного напряжения генератора импульсы нужной дли-

тельности и формы либо выделить синусоиду тактовой частоты.

Синхронизирующая схема, кроме совпадения частот, должна обеспечить также синфазность работы приемного распределителя с передающим. Это означает, что импульсы первого канала должны попадать именно к выходу первого канала и т. д., т. е. должно быть обеспечено правильное размещение каналов.

Задача обеспечения синфазности решается очень легко, если система предусматривает маркерные импульсы: например, признаком импульса первого канала является то, что он следует за маркером, который отличен от импульсов каналов. Если же маркерные импульсы отсутствуют, то для безошибочного распределения каналов приходится вводить в импульсы одного из каналов какой-то отличительный признак. Например, в системах импульсно-кодовой связи задача может быть решена следующим образом: в кодовых группах первого канала всегда посылается первый импульс, независимо от того, нужен он или не нужен для кодирования. Этот первый импульс, имея «цену» всего лишь в одну единицу, не вносит заметных искажений в передачу первого канала.

Отличительным признаком такого импульса служит, например, его дополнительная модуляция звуковым напряжением, частота которого не проходит в полосу пропускания фильтра нижних частот на выходе канала в приемнике.

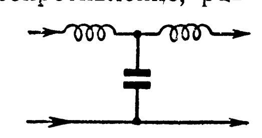
Что же представляет собой распределитель импульсов, работой которого управляет синхронизирующее напряжение? Существует несколько различных систем распределителей, основанных на разных принципах. Это — электрические, электронные, электронно-лучевые и ряд других систем.

Некоторые из этих систем будут описаны в последующих главах. Сейчас уместно рассмотреть принцип простейшего распределителя, который называется задерживающей цепью.

Задерживающей цепью (или цепью задержки) называют искусственную длинную линию, по которой импульсы проходят с необходимой задержкой во времени. Линия должна состоять из ряда звеньев, каждое из которых представляет собой сочетание емкостей и индуктивностей. Простейшим типом звена задерживающей линии может быть, например, Т-образное звено (фиг. 55), содержащее две катушки и конденсатор (с возможно малыми потерями).

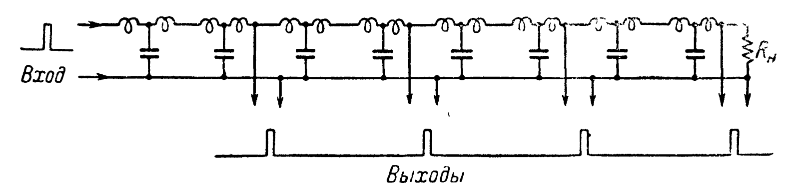
Импульс, воздействующий на вход такого звена, доходит до его выхода с некоторым запозданием (задержкой); это время обусловлено тем, что конденсатор не может мгновенно зарядиться или разрядиться через катушку. Требуемое время задержки устанавливается выбором числа звеньев цепи, которое может быть значительным (иногда несколько сотен).

Если цепь задержки нагружена на сопротивление, равное ее характеристическому сопротивлению, то импульсы, доходя до конца цепи, не отражаются и расходуют полностью свою энергию в сопротивлении нагрузки $R_н$. Отсутствием отражений можно воспользоваться для того, чтобы взять отводы от разных звеньев цепи и, подав на вход один импульс, получить на отдельных отводах импульсы напряжения, сдвинутые во времени (фиг. 56).



Фиг. 55. Простейшая схема звена цепи задержки.

Такая схема может быть применена в передающей установке в качестве распределителя импульсов, подобного указанному на фиг. 25. Импульс, созданный формирую-

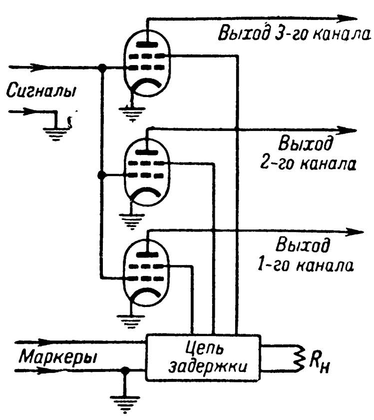


Фиг. 56. Получение импульсов с различной задержкой по времени.

щим устройством, воздействует на модуляторы каналов со сдвигами во времени, образуя таким образом необходимую последовательность импульсов уплотненной передачи.

Такая же схема может быть использована и в приемной установке в качестве распределителя импульсов по каналам, подобного изображенному на фиг. 28. В этом случае на вход цепи задержки воздействует не вся принимаемая последовательность импульсов, а только импульсы синхронизации (например, маркерные). К выходной лампе каждого канала подводится вся последовательность принимаемых импульсов и импульсы с одного из отводов цепи задержки. Выход канала открывается лишь для того из импульсов

каналов, который совпадает по времени с импульсом синхронизации. С этой целью импульсы каналов подаются одновременно на все управляющие сетки выходных ламп, а импульсы от выходов распределителя подаются поочередно, например, на экранирующие сетки этих ламп (фиг. 57).



Фаг. 57. Принцип распределения импульсов в приемном устройстве.

Итак, цепь задержки может быть использована в качестве распределителя для многоканальных систем с уплотнением по времени. Следует отметить, что к изготовлению задерживающих цепей, как и других систем распределителей, предъявляются очень высокие требования, так как точность их действия является решающим условием в осуществлении многоканальной работы радиорелейных линий.

ГЛАВА ПЯТАЯ

АППАРАТУРА РАДИОЛИНИЙ С ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

12. РАДИОЛИНИЯ С ИМПУЛЬСНО-ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

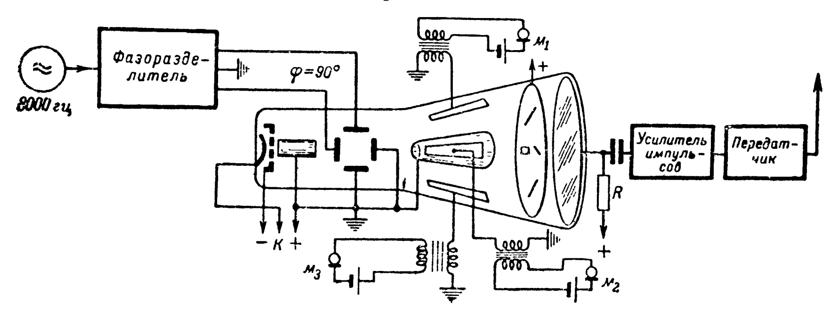
В предыдущих главах были изложены общие принципы импульсной радиотелефонии и описаны основные детали радиорелейных установок с уплотнением по времени. Эти сведения позволяют дать краткие описания установок в целом. Мы остановимся на двух примерах. Первым из них будет одно из возможных устройств с импульсно-фазовой модуляцией, а вторым — устройство с импульсно-кодовой модуляцией.

На фиг. 58 изображен состав передающей установки с импульсно-фазовой модуляцией на три канала, в которой применен электронно-лучевой прибор в качестве распределителя и модулятора импульсов.

Схема начинается генератором тактовой частоты 8 000 *гц*, который имеет высокую стабильность и синусои-

дальную форму колебаний; по своей схеме это — обычный ламповый генератор.

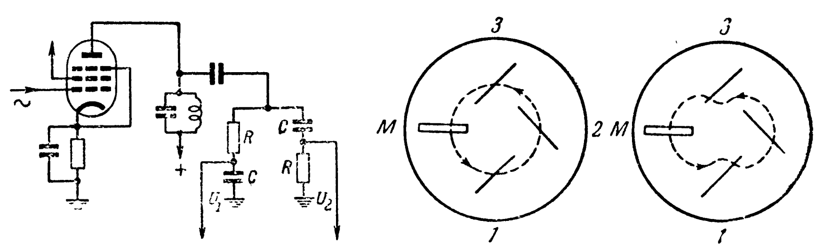
Второй блок — «фазоразделитель» — можно рассматривать как усилитель синусоидального напряжения с двумя параллельными емкостно-реостатными ветвями нагрузки



Фиг. 58. Передающая установка с распределителем-модулятором.

(фиг. 59). Напряжение U_1 левого выхода снимается с конденсатора, а напряжение U_2 правого выхода — с сопротивления. Благодаря этому напряжения оказываются сдвинутыми по фазе на 90°. Они подводятся к отклоняющим пластинам специальной электронно-лучевой трубки, формирующей и модулирующей импульсы каналов.

Устройство левой части трубки подобно электронному осциллоскопу: здесь есть катод, регулирующий электрод,



Фиг. 59. Схема фазоразделителя.

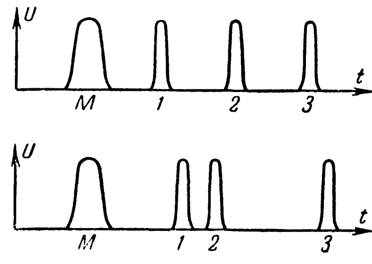
Фиг. 60. Электрод с формирующими прорезями и принцип фазовой модуляции.

система ускорения и фокусировки электронного потока (один или два анода) и, наконец, две пары отклоняющих пластин. Известно, что при воздействии на пластины синусоидальных напряжений с равными амплитудами, но со сдвигом фаз в 90° электронный луч будет совершать вращение по кругу с тактовой частотой.

На пути луча в правой стороне трубки помещен металлический заземленный конус, вокруг внешней поверхности которого и вращается луч. Параллельно образующей конуса размещены модуляторные пластины, число которых равно числу каналов; на месте образования маркерного импульса модуляторная пластина не нужна.

На фиг. 58 показана трубка для трех каналов. Луч вращается между поверхностью конуса и поверхностями модуляторных пластин.

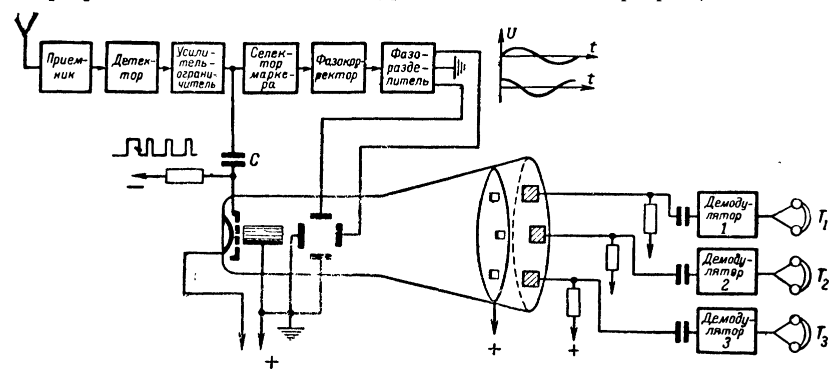
Правее конуса установлен плоский электрод с отверстиями: это диск, несущий на себе положительный (по отношению к катоду) потенциал и имеющий узкие косые прорези для формирования импульсов каналов и широкую прямую прорезь для формирования маркера (фиг. 60). Луч при своем вращении со скоростью 8 000 об/сек оставляет на флюоресцирующей поверхности диска светлый круг, пересекающий прорези (на фиг. 60 левый чертеж). Электроны поочередно проникают через прорези, предназначенные для маркера, первого, второго и третьего каналов, и попадают на собирательный электрод (см. фиг. 58) — сплошной металлический диск. Электроны, попавшие на собирательный диск, стекают на «плюс» питания через сопротивление R, на котором образуются импульсы напряжения маркера и каналов (фиг. 61, верхний график). Следовательно, необходимые импульсы оказываются сформированными; обычно в усилителе, включенном на выходе трубки, форма этих импульсов улучшается при помощи ограничителей. После усиления импульсы управляют радиопередатчиком сверхвысоких частот, излучающим радиоимпульсы.



Фиг. 61. Импульсы без модуляции и с модуляцией по фазе.

Модуляторные пластины (см. фиг. 58) в описанном выше процессе формирования импульсов не участвовали. Импульсы размещались с равными промежутками времени. В действительности же между каждой пластиной и конусом включается вторичная обмотка трансформатора абонентского микрофона (M_1, M_2, M_3). Радиальное электрическое поле звуковой частоты, образующееся между модуляторной пластиной и конусом, отклоняет электронный луч к пе-

риферии (плюс на пластине) или к центру (минус на пластине). На фиг. 60 справа показан путь луча за один оборот в том случае, когда модуляторные пластины первого и третьего каналов несут на себе отрицательное, а второго — положительное напряжения. Легко видеть, что первая и третья прорези пересекаются лучом с запаздыванием по фазе, а вторая — с опережением. Прорезь маркера пересекается всегда без смещения фазы. Таким образом, фазы импульсов на выходе каналов определяются мгновенными значениями модулирующих напряжений и каждый канал получает модуляцию импульсов по фазе напряжением микрофона своего абонента (фиг. 61, нижний график).



Фиг. 62. Приемное устройство с электронно-лучевой трубкой.

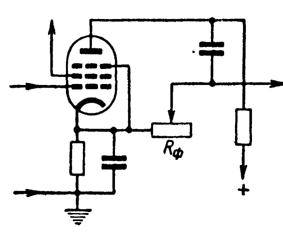
В соответствии с частотой вращения луча передатчик излучает 8 000 $(N+1)$ импульсов в секунду, где N — число каналов. Промежутки времени между импульсами определяются геометрической конструкцией электрода с прорезями, что обеспечивает их строгую фиксацию во времени, изменяемую только модулирующими напряжениями.

Производство электронно-лучевого прибора, предназначенного для формирования и модуляции импульсов, требует высоких точностей. Поэтому, кроме описанной схемы передатчика, можно применять и другие схемы, не имеющие специальных электронно-лучевых трубок, например описанные выше задерживающие линии с отдельными модуляторами каналов.

На фиг. 62 изображена блок-схема приемной установки с электронно-лучевым распределителем-преобразователем. Собственно приемник с детектором и усилителем-ограничителем видеоимпульсов соответствует описанным выше схе-

мам для приема сигналов с импульсно-амплитудной модуляцией. Принятые сигналы после усилителя-ограничителя видеоимпульсов, обеспечивающего срезание шумов, разветвляются, воздействуя одновременно на селектор маркера и на управляющий электрод приемной электронно-лучевой трубки.

Первоначально рассмотрим назначение маркерного импульса. Маркерные импульсы должны быть преобразованы в синусоидальное напряжение тактовой частоты, обеспечивающее вращение электронного луча по окружности. Следовательно, требуется не только выделить маркер из всей последовательности принимаемых импульсов, но и получить из него два синусоидальных напряжения, сдвинутых по фазе на 90°. Вращение луча в трубке приемника будет строго синхронным с вращением луча в трубке передатчика-корреспондента, так как частота повторения маркера равна тактовой частоте передатчика.



Фиг. 63. Схема фазокорректора.

Одна из возможных схем выделения и преобразования маркерных импульсов была представлена на фиг. 54. Такая же схема может быть применена и в данном случае в качестве блока маркерной селекции, показанного на фиг. 62. Она создает синусоидальное напряжение тактовой частоты, которое в следующем блоке усиливается и снимается с сопротивления $R_ф$ фазовой коррекции (фиг. 63). Фазокорректор позволяет уточнять размещение импульсов каналов по соответствующим отверстиям в формирующем электроде электронно-лучевой трубки: вследствие того, что последовательно с $R_ф$ включен конденсатор, уменьшение $R_ф$ создает опережение по фазе, и наоборот.

Наконец, фазоразделительный блок, схема которого была дана на фиг. 59, имеет два выходных напряжения, сдвинутых по фазе на 90°. Эти напряжения воздействуют на пары отклоняющих пластин приемной трубки и создают вращение электронного луча.

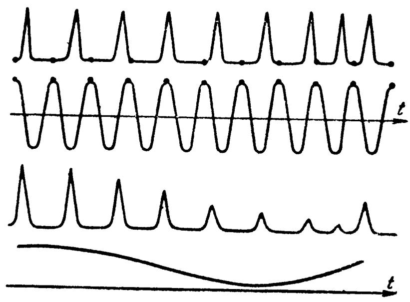
Электронный луч падает на поверхность электрода с отверстиями и при своем вращении последовательно проникает сквозь отверстия, число которых равно числу каналов. Отверстие для маркера отсутствует, так как он уже

выполнил свою задачу, обеспечив вращение луча. На фиг. 62 показана система с тремя каналами.

Позади каждого отверстия укреплен собирательный электрод канала, имеющий выход к демодулятору.

Теперь обратимся ко второй ветви приемной схемы на фиг. 62. При отсутствии сигнала на управляющем электроде трубки будет постоянное отрицательное напряжение смещения. Это напряжение запирает луч электронов, не пропуская их к диску с отверстиями. Следовательно, на поверхности диска в этих условиях нет светлого круга, какой наблюдался бы при отсутствии смещения. Луч вспыхивает лишь в те моменты, когда на управляющий электрод воздействует положительное напряжение принимаемых импульсов. К управляющему электроду подводятся принятые импульсы через конденсатор C.

Если вращение луча должным образом сфазировано, то луч «вспыхивает» на короткое время именно в те моменты, когда электроны попадают сквозь отверстия в диске на выходные электроды. Таким образом производится разделение каналов, имеющих каждый свою отдельную цепь, начинающуюся от выходного электрода данного канала.



Фиг. 64. Процесс преобразования импульсов и демодуляции в приемном устройстве, представленном на фиг. 62.

Как уже указывалось выше, одновременно с разделением каналов необходимо осуществить и преобразование модуляции. Фазовая модуляция импульсов преобразуется в электронно-лучевой трубке в амплитудную. Преобразование основано на том, что в зависимости от величины девиации модулированного импульса открываемый им луч в большей или меньшей мере совпадает с отверстием в диске, тем самым создавая в коллекторной пластине импульс большей или меньшей высоты.

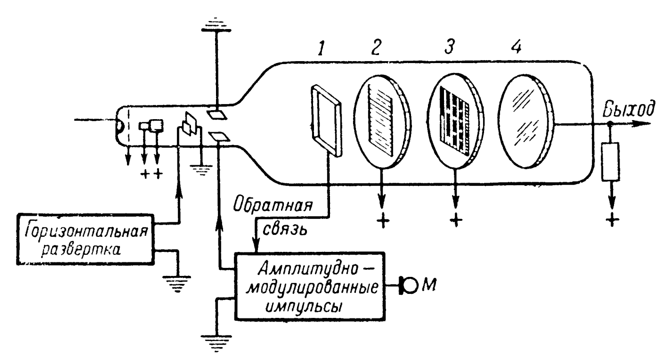
Физическая картина преобразования модуляции представлена на фиг. 64. Верхний график изображает ряд импульсов одного канала. О величине девиации каждого импульса можно судить, сопоставляя его положение с положением амплитуд тактовой частоты (второй график). Тре-

тий график изображает импульсы тока в цепи собирательного электрода данного канала, а нижний — напряжение звуковой частоты на выходе фильтра канала, производящего демодуляцию.

Таковы в самых общих чертах основные элементы и физические процессы одной из возможных систем радиосвязи с импульсно-фазовой модуляцией.

13. АППАРАТУРА ИМПУЛЬСНО-КОДОВОЙ СВЯЗИ

Каким путем кодируются амплитудно-модулированные импульсы? Этот вопрос наиболее важен для разработки передающего устройства импульсно-кодовой связи. Можно



Фиг. 65. Устройство кодирующей трубки.

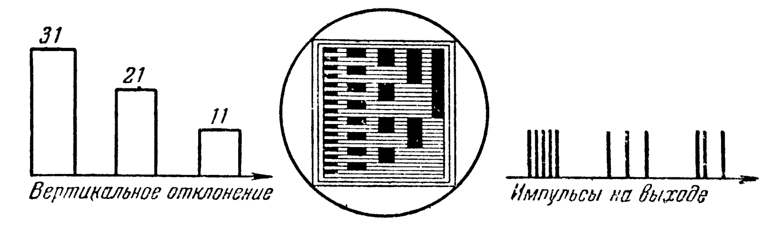
осуществить кодирование с помощью схем, собранных на обычных электронных лампах; но для многоканальных линий такие схемы довольно сложны. Поэтому для кодирования амплитудно-модулированных импульсов разработаны специальные электронно-лучевые приборы, называемые кодирующими трубками.

Схематически такая трубка показана на фиг. 65. Левая часть ее представляет собой обычное устройство, присущее любому электронно-лучевому прибору. Это — «электронная пушка», образующая тонкий пучок (луч) электронов, и две пары пластин электростатического управления этим лучом. На одну пару пластин подается напряжение горизонтальной развертки, на другую — прямоугольные амплитудно-модулированные импульсы. Луч успевает пробежать всю горизонтальную строку в течение длительности одного импульса, причем строка тем выше, чем больше высота

импульсов, воздействующих на пластины вертикального отклонения. Обратный ход луча уничтожается подачей отрицательного (запирающего) напряжения на сетку трубки. В правой части трубки расположены один за другим четыре специальных электрода, которые и образуют кодирующую систему. Этим электродам можно дать следующие названия: *1* — стабилизирующая рамка, *2* — направляющая решетка, *3* — кодовый электрод, *4* — выходной электрод.

Луч электронов может пройти сквозь отверстия первых трех электродов и попасть на сплошную поверхность последнего, создавая ток в его нагрузочном сопротивлении.

Рассмотрим кодовый электрод для пятизначного кода, показанный на фиг. 66. Отверстия в кодовом электроде



Фиг. 66. Кодовый электрод и работа кодирующей трубки.

просматриваются сквозь направляющую решетку, которая своими горизонтальными параллельно расположенными проволоками образует 32 строки.

Слева на фиг. 66 изображены для примера три кодируемых импульса вертикального отклонения, поднимающие электронный луч до различных строк. Если луч поднят до наивысшего уровня и скользит по верхней строке, то он создает в нагрузке выходного электрода все пять кодовых импульсов, показанных справа в первой группе. Так кодируется первичный импульс, имеющий «цену» в 31 единицу.

Второй импульс (слева), в 21 единицу, пропуская луч поочередно через отверстия первого, третьего и пятого «столбцов», образует вторую группу импульсов справа. Наконец, третий импульс, «ценой» в 11 единиц, заставляет луч пройти сквозь отверстия первого, второго и четвертого столбцов, формируя третью группу кодовых импульсов. Результаты кодирования изображены на фиг. 66, справа.

Кодовый электрод требует высокой точности изготовления. Важной технологической задачей является выверка расположения электродов по отношению к оси трубки и

к осям отклоняющих пластин. Эта выверка производится до окончательной запайки трубки. Выводы четырех электродов делаются непосредственно сквозь стекло боковых стенок трубки.

В схеме кодирующего устройства существенную задачу представляет стабилизация строк: при данной высоте кодируемого импульса электронный луч должен двигаться строго горизонтально, не меняя своего уровня во время движения, т. е. не перескакивая с данной строки на соседние. Переход с одной строки на другую дал бы неверный результат кодирования, а это привело бы к искажению передаваемого звука в приемнике.

Стабилизация строк достигается при помощи двух электродов: направляющей решетки и стабилизирующей рамки. Если кодовый и выходной электроды покрываются углеродным слоем, препятствующим вылету вторичных электронов, то направляющая решетка не имеет углеродного покрытия, и потому при падении луча на ее проволоку с поверхности последней вылетают вторичные электроны.

Вторичная эмиссия отсутствует только тогда, когда луч движется строго вдоль строки между двумя соседними проволоками решетки. Если же он, стремясь перескочить на другую строку, будет пересекать проволоку, то выбиваемые из нее вторичные электроны окажутся притянутыми стабилизирующей рамкой, на нагрузочном сопротивлении которой появится напряжение, воздействующее на пластины вертикального отклонения совместно с первичным импульсом. Это добавочное напряжение, являясь некоторым подобием напряжения обратной связи, будет препятствовать изменению уровня первичного импульса и удерживать луч в пределах кодирующей строки.

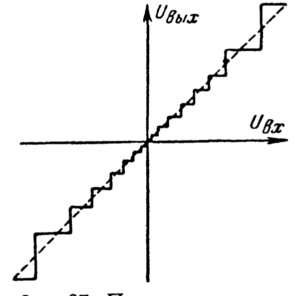
Кодирующая трубка должна допускать очень точную фокусировку луча, для того чтобы его площадь сечения была минимальной. В противном случае луч будет перекрывать сразу две строки, создавая ложную кодовую комбинацию.

На фиг. 66 изображалось кодирование импульсов положительного знака. Однако в современных системах импульсно-кодовой связи вместо односторонних первичных импульсов применяется знакопеременная амплитудно-импульсная модуляция, как было показано на фиг. 48.

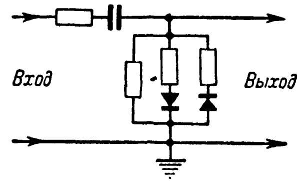
Знакопеременная амплитудная модуляция удобнее, чем односторонняя. Так, нулевая строка при этом способе модуляции оказывается на средней ступени кодирования и при

пятизначном коде оценивается 16 единицами. Положительные импульсы дают отклонение вверх от этого уровня, а отрицательные — вниз. Цена «нуль», т. е. отсутствие импульсов в кодовой группе, соответствует наибольшему отрицательному импульсу, а «цена» 31 единица — наибольшему положительному импульсу. Во время молчания передающего абонента передатчик посылает кодовые группы, соответствующие 16 единицам, что облегчает задачу контроля. Результат кодирования при знакопеременной модуляции тот же, что и при односторонней.

Необходимо остановиться еще на одной детали передающего устройства. Эта деталь называется компрессором и служит для ослабления собственного шума (шума квантования) при передаче слабых звуков.



Фиг. 67. Передача сигнала неравными ступенями.



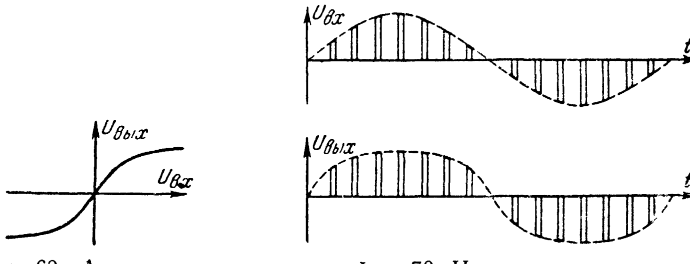
Фиг. 68. Принципиальная схема компрессора.

Выше, в § 10, было указано, что этот шум наиболее опасен именно для слабых сигналов, звуковое напряжение которых передается малым числом ступеней. Компрессор предназначен для того, чтобы сделать уровни «оценки» амплитуд неравномерными (фиг. 67) и благодаря этому даже слабые звуки передавать значительным числом ступеней, обеспечивая превосходство сигнала над шумом.

Схема компрессора изображена на фиг. 68. В схему включены параллельно два твердых выпрямителя, имеющих противоположно направленные полярности. Добавочные сопротивления в схеме сглаживают результаты возможной разницы свойств выпрямителей и делают характеристику компрессора симметричной относительно перехода через нуль.

Амплитудная характеристика компрессора (зависимость напряжения выхода от напряжения входа) показана на фиг. 69. Нелинейность характеристики обусловлена тем, что выпрямитель при малых напряжениях на его контакте имеет малую проводимость (крутизну характеристики) и не

оказывает заметного шунтирующего действия по отношению к выходу. При больших напряжениях на контакте проводимость выпрямителя возрастает, следовательно, возрастает и его шунтирующее действие, приводящее к потере напряжения на последовательном сопротивлении схемы компрессора. Вследствие такой формы характеристики сильные сигналы при прохождении через компрессор подавляются больше, чем слабые. На фиг. 70 изображены импульсы на входе и на выходе компрессора. Очевидно, что в приемнике для получения неискаженного звука необходимо произвести обратную операцию — восстановить нарушенное соотношение между амплитудами импульсов.



Фиг. 69. Амплитудная характеристика компрессора.

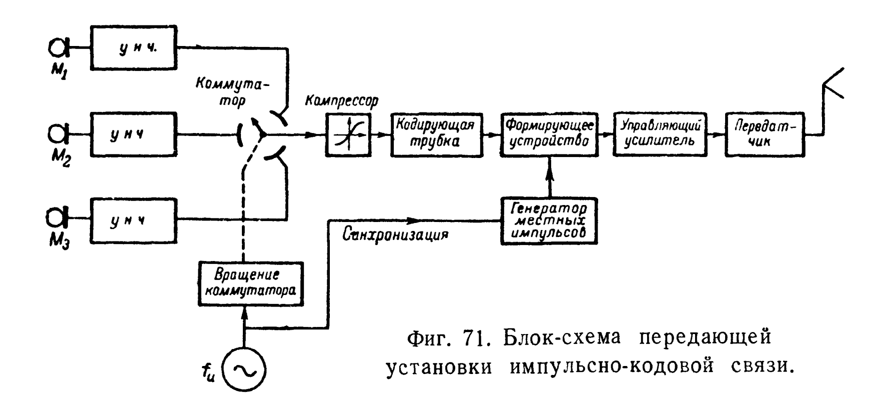
Фиг. 70. Искажения импульсов компрессором.

Одно важное соображение относится к выбору полосы пропускания для кодовых импульсов. Казалось бы, что при кодовой связи полоса пропускания должна быть очень широкой, так как один импульс амплитудной модуляции передается кодовой группой, содержащей несколько импульсов. Но импульсно-кодовая система связи допускает выбор меньшей полосы пропускания, чем другие системы импульсной связи при одинаковой длительности передаваемых импульсов.

Это объясняется различной ролью импульсов сигнала в приемнике: в кодовой системе они только открывают путь местным импульсам, как было показано на фиг. 46. Следовательно, если соседние импульсы вследствие сравнительно узкой полосы растянутся во времени или даже сомкнутся один с другим, то, несмотря на это, они правильно дадут путь местным импульсам. Нельзя лишь допускать слияния импульсов, расположенных друг от друга через один кодовый интервал.

В качестве простейшего примера на фиг. 71 приведена блок-схема передающей установки импульсно-кодовой свя-

зи на три канала. Генератор тактовой частоты f_u служит для управления коммутатором, разрезающим звуковые напряжения на амплитудно-модулированные импульсы. Амплитудно-модулированные импульсы чередующихся каналов проходят блок компрессии и воздействуют на кодирующее устройство. Кодовые импульсы на выходе трубки имеют нечеткую форму, а потому используются только для отпирания местных импульсов, формирующихся отдельным генератором, который имеет частоту, строго кратную частоте такта при наличии синхронизации последней.



Фиг. 71. Блок-схема передающей установки импульсно-кодовой связи.

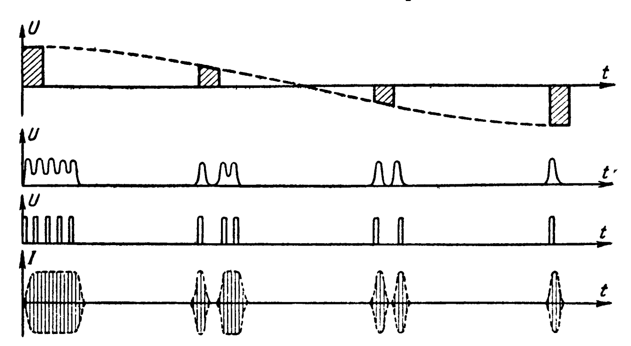
На выход формирующего блока поступают калиброванные местные импульсы, но в должных кодовых комбинациях. Эти импульсы управляют передатчиком сверхвысоких частот, излучающим колебания в форме радиоимпульсов в тех же комбинациях.

На фиг. 72 показаны физические процессы в одном из каналов этого передающего устройства. Первый (верхний) график представляет амплитудно-модулированные импульсы на выходе компрессора, второй — кодовые импульсы на выходе трубки, третий — кодовые комбинации, посылаемые формирующим устройством, и, наконец, последний график — радиоимпульсы сверхвысокой частоты. Вследствие сравнительно узкой полосы пропускания радиоимпульсы соседних позиций сливаются друг с другом, что, как было указано выше, допустимо.

В промежутках между кодовыми группами данного канала остается место для групп других каналов. Практически такие системы выполнялись на 12 каналов, что при

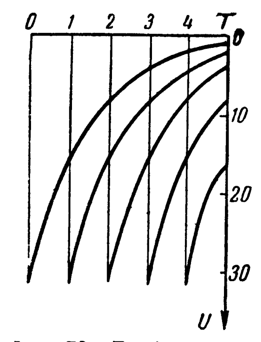
тактовой частоте 8 000 *гц* соответствует передаче 96 000 кодовых групп в секунду.

Переходя к описанию состава и работы приемного устройства оконечной станции импульсно-кодовой связи,



Фиг. 72. Процессы работы одного из каналов передающей установки импульсно-кодовой связи.

необходимо указать, что весьма важным и своеобразным процессом в приемнике является декодирование импульсных групп, т. е. обратное превращение каждой группы в один импульс. Нужно, чтобы в момент окончания кодового интервала времени на выходе демодулирующего устройства возникало напряжение, пропорциональное сумме «цен» импульсов, имевшихся в переданной группе.



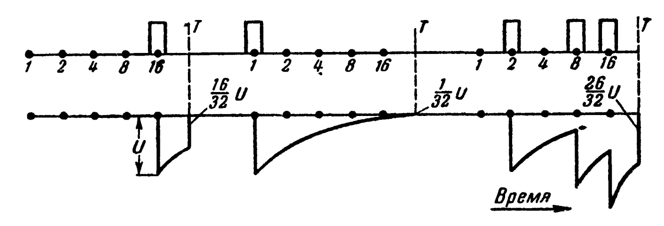
Фиг. 73. Графики напряжения на декодирующем конденсаторе от воздействия каждого импульса в отдельности.

Простейший способ решения этой задачи основан на следующих соображениях. Возьмем в качестве примера пятизначный код. От начала кодовой группы до момента T «выдачи» декодированного импульса имеется пять позиционных промежутков времени. Если импульс кодовой группы зарядит некоторую емкость C до напряжения U, то, предоставив этому конденсатору возможность разряжаться через сопротивление R, можно соответствующим подбором величин R и C достигнуть уменьшения напряжения вдвое за один позиционный промежуток (фиг. 73).

Пусть, например, напряжение U, создаваемое импульсом, равно 32 *в* (в данном случае — отрицательное, хотя

это и необязательно). Тогда после одного интервала оно снизится до 16 *в*, после двух — до 8 *в*, после трех — до 4 *в* и т. д. Следовательно, в момент *T* на конденсаторе останется напряжение, величина которого обусловлена числом позиционных промежутков между импульсом и моментом *T*. Это остаточное напряжение равно «цене» кодового импульса.

Но конденсатор *C* является общим для всех импульсов и включен так, что все остаточные напряжения за время от 0 до *T* суммируются, создавая в момент *T* общее напряжение, равное сумме «цен» всех импульсов, имевшихся в составе группы. На фиг. 73 показан разряд конденсатора после каждого импульса, причем пик напряжения каждого



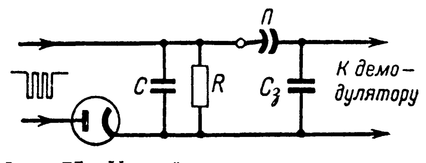
Фиг. 74. Графики общего напряжения на декодирующем конденсаторе.

импульса имеет значение в 32 относительные единицы. На конденсаторе в момент *T* от первого импульса остается одна, от второго — две, от третьего — четыре, от четвертого — восемь, от пятого — 16 единиц напряжения. Сумма же всех напряжений полной кодовой группы составит в момент *T* всего 32 единицы, что и соответствует суммарной «цене» всех пяти импульсов группы.

На фиг. 74 показано декодирование трех различных кодовых комбинаций, причем напряжения, создаваемые отдельными импульсами, суммированы. Первая группа состоит из одного импульса, занимающего пятое место и имеющего «цену» в 16 единиц. В момент *T* он оставляет на конденсаторе напряжение, равное $^{16}/_{32}$ U. Вторая группа имеет один импульс, занимающий первое место; в момент *T* на конденсаторе остается напряжение $^{1}/_{32}$ U, соответствующее «цене» этого импульса. Третья группа имеет три импульса — второй, четвертый и пятый; их общая «цена» равна 26 единицам, и на конденсаторе в момент *T* остается напряжение $^{26}/_{32}$ U.

Декодирующее устройство можно упрощенно изобразить схемой, данной на фиг. 75. Основную его часть составляет конденсатор C, включенный параллельно с сопротивлением R. Это соединение подвергается воздействию напряжений кодовых импульсов. Конденсатор заряжается (отрицательным напряжением, как показано для примера на фиг. 74 и 75) от каждого импульса через диод, а разряжается непрерывно через сопротивление.

В конце каждой кодовой группы (в моменты T) специальный коммутатор $П$ присоединяет на короткое время цепь RC к конденсатору задержки $C_з$, который и заряжается до напряжения, оставшегося на зажимах RC к этому моменту. Напряжение в момент T, как указывалось выше, имеет значение, пропорциональное «цене» всей кодовой группы, так как заряд конденсатора происходит через диод.



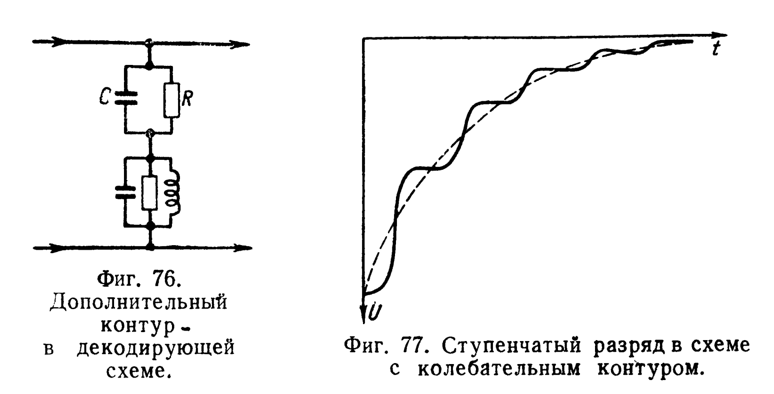
Фиг. 75. Устройство, декодирующее сигналы.

Конденсатор $C_з$ коммутируется далее на демодулятор, подавая на последний импульс напряжения, в который «преобразована» вся кодовая группа. Очевидно, что эти результирующие импульсы модулированы по амплитуде в соответствии с «ценами» групп, а потому могут демодулироваться обычным фильтром нижних частот на выходе канала, создавая звуковое напряжение.

Промежуток времени между концом данной и началом следующей кодовой группы должен быть достаточным для разряда конденсатора C. С этой целью возможно применить разделение каналов на четную и нечетную группы, имея для каждой из этих групп отдельное декодирующее устройство.

Существенный недостаток этого простейшего декодирующего устройства заключается в необходимости очень точно снимать с конденсатора C заряд в момент T, так как после этого напряжение, быстро падает, и если момент снятия напряжения получит во времени даже небольшое смещение, высота амплитудно-модулированных импульсов на выходе будет искажаться. Для устранения этого недостатка последовательно с ячейкой RC включают колебательный контур, настроенный на номинальную частоту повторения импульсов в кодовой группе (фиг. 76). Такое включение

делает кривую разряда ступенчатой, отражающей колебательный затухающий разряд контура (фиг. 77), и благодаря уменьшению крутизны кривой разряда в момент T требо-

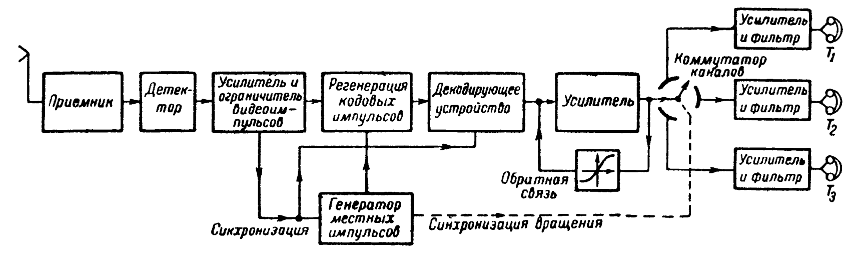


Фиг. 76. Дополнительный контур в декодирующей схеме.

Фиг. 77. Ступенчатый разряд в схеме с колебательным контуром.

вания к точности момента снятия заряда оказываются менее строгими.

Блок-схема приемного устройства импульсно-кодовой связи на три канала упрощенно показана на фиг. 78. Сигналы сверхвысокой частоты в виде кодовых групп радиоимпульсов принимаются антенной направленного действия

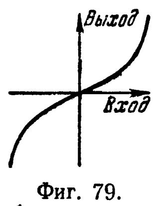


Фиг. 78. Примерная блок-схема приемной аппаратуры импульсно-кодовой связи.

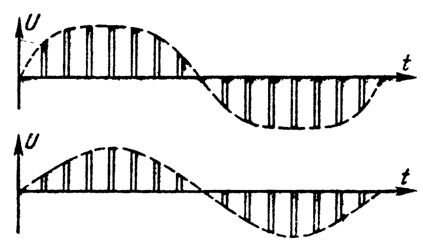
и поступают в приемник, схема которого подобна описанным в предыдущих главах, а ширина полосы выбрана применительно к длительности кодового импульса, но с учетом менее строгих требований кодовой связи. После детектора односторонние импульсы поступают в усилитель-ограничитель, имеющий два выхода. Выход синхронизации играет вспомогательную роль, воздействуя на генератор местных

импульсов и управляя коммутаторами. Основной выход посылает принятые импульсы в качестве открывающих в блок регенерации (восстановления), где они служат для отпирания пути местным импульсам. В этом процессе устраняются помехи радиоприему, так как искажение возможно только в тех случаях, когда посланный импульс не был принят или же был принят ложный импульс.

Восстановленные по своей форме кодовые группы подвергаются декодированию и преобразуются в амплитудно-модулированные импульсы. Однако декодированные импульсы даже и без воздействия помех воспроизводят закон модуляции в искаженном виде, если в передающей уста-



Фиг. 79. Амплитудная характеристика усилителя с обратной связью.



Фиг. 80. Восстановление закона модуляции усилителя с обратной связью.

новке они были подвергнуты компрессии (см. фиг. 70); значит, в приемнике необходимо восстановить естественные соотношения между высотой отдельных амплитудно-модулированных импульсов после декодирования. Это делается с помощью усилителя с отрицательной обратной связью, в цепи которой имеется амплитудный ограничитель. Нелинейная характеристика цепи обратной связи должна совпадать с характеристикой компрессора в передатчике.

Если амплитуды сигнала малы, то подавляющее действие отрицательной обратной связи значительно, а потому усиление оказывается малым. Если же амплитуды велики, то действие отрицательной обратной связи уменьшается, и каскады повышают свое усилительное действие. Примерный вид амплитудной характеристики усилителя с нелинейной обратной связью дан на фиг. 79. Эта характеристика имеет форму, обратную форме характеристики компрессора, и восстанавливает соотношения высот импульсов, нарушенные компрессором (фиг. 80).

На выходе усилителя с обратной связью каналы разделяются по времени коммутатором, действующим синхронно с передающим устройством. Каждый канал заканчивается своим усилителем-демодулятором, содержащим фильтр звуковых частот, и своим абонентским выходом.

Из приведенного краткого описания принципов работы и устройства аппаратуры импульсно-кодовой связи можно сделать вывод, что вследствие возможности регенерации импульсов (как в приемниках ретранслирующих установок, так и в приемнике оконечной станции) особым преимуществом импульсно-кодовой связи является прохождение сигнала без накопления шумов в промежуточных установках. Строго говоря, полностью избежать появления шума нельзя и в этой системе вследствие неточностей в самом процессе регенерации, а также из-за наличия собственного шума, обусловленного «ступенчатым» характером кодирования. Но нарастание шумов (при должном превышении сигнала над помехой на входе каждого приемника) оказывается незначительным. Это дает возможность иметь при сравнительно малой мощности передатчиков большое число ретрансляционных установок. Но зато аппаратура как передающих, так и приемных устройств импульсно-кодовой системы получается сложнее, чем для других систем уплотнения.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ПЕРЕДАТЧИКАХ, ПРИЕМНИКАХ И АНТЕННАХ ДЛЯ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ УСТАНОВОК

14. ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕДАЮЩИХ И АНТЕННЫХ УСТРОЙСТВ

Радиорелейная связь независимо от способа уплотнения (по частоте или по времени) осуществляется на сверхвысоких частотах (на метровых, дециметровых или сантиметровых волнах). Следовательно, те важнейшие элементы радиорелейной аппаратуры, которые предназначены для генерации, излучения и приема радиоволн, основываются на всех научных и технических достижениях в области сверхвысоких частот. Охватить в кратком описании даже основные схемы и конструкции устройств, предназначенных для генерации, усиления, излучения и приема колебаний сверхвысокой частоты в радиорелейной связи, не представляется

возможным. На фиг. 12 и 13 были даны примеры блок-схем передатчика и приемника, пригодных для определенной категории радиолиний. Однако для других диапазонов, другого метода уплотнения и числа каналов сверхвысокочастотная аппаратура иногда существенно видоизменяется. Можно перечислить лишь основные соображения для выбора передатчиков, антенных систем и приемников радиорелейной связи.

Рассмотрим в первую очередь основные инженерные решения, относящиеся к радиопередатчикам. Наиболее характерной частью передатчика является выходной каскад. Обобщая весьма грубо известные из литературы решения, можно сказать, что для передатчиков метровых волн в выходном каскаде обычно применяют пентод или триод, для передатчиков дециметровых волн — дисковый триод с плоской сеткой или клистрон и, наконец, для передатчиков сантиметровых волн — клистрон или магнетрон. Несколько особое место в современной радиорелейной аппартуре занимает лампа с бегущей волной; ее применение может быть перспективным в первую очередь в ретрансляционных установках сантиметровых волн.

В соответствии с типом лампы выходного каскада выбирается и способ стабилизации сверхвысокой частоты: методы стабилизации, применяемые в схемах с триодами или пентодами, существенно отличаются от методов, используемых для схем с клистронами или магнетронами.

Для оконечной радиорелейной станции, имеющей в выходном каскаде триод дискового типа, может быть выбран один из трех способов стабилизации частоты.

Первый способ, который и был показан в схеме на фиг. 12, заключается в использовании задающего генератора с кварцевой стабилизацией частоты и с последующим многократным ее умножением в нескольких каскадах. В этом случае стабильность частоты определяется свойствами кварцевой пластины и ее температурным режимом.

При втором способе стабилизации применяется самовозбуждающийся генератор, у которого постоянство частоты поддерживается с помощью присоединенной к контуру реактивной лампы. На сетке реактивной лампы смещение устанавливается под воздействием частотного дискриминатора с усилителем постоянного тока. В свою очередь в схеме дискриминатора частота стабилизируемого генератора сравнивается с частотой кварцевого гетеродина, который служит эталоном. Выгодной в этом случае является воз-

можность работы дискриминатора при весьма малой мощности на выходе цепи кварцевого эталона.

Наконец, третий, наиболее простой по своей схеме способ стабилизации состоит в использовании задающего генератора с высококачественным объемным резонатором, способным обеспечить должное постоянство частоты.

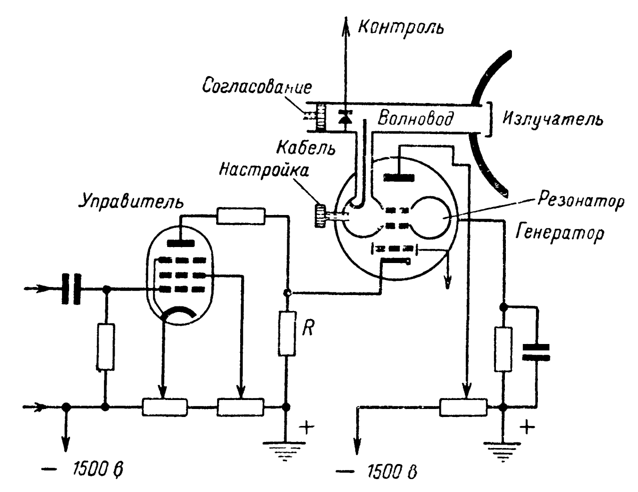
Отражательный клистрон, применяемый в передатчиках с самовозбуждением, предоставляет возможность регулировать частоту колебаний путем изменения напряжения на отражательном электроде. Это напряжение устанавливается под воздействием дискриминатора, производящего сравнение частоты клистронного генератора с частотой отдельного источника стабильных колебаний. Естественно, что в случае частотной модуляции клистрона система стабилизации должна поддерживать постоянство средней (несущей) частоты генератора. Одним из новых направлений в радиотехнике является стабилизация частоты клистронных и магнетронных генераторов с помощью молекулярного резонанса некоторых газов (под низким давлением). Этот новый принцип требует сравнительно сложного устройства, но способен обеспечить такую устойчивость частоты, которая не достигается другими средствами.

Способы осуществления вторичной радиочастотной модуляции в передатчиках кратко освещались выше. Так, например, косвенный способ частотной модуляции, представленный на фиг. 12, наиболее применим в передатчиках, имеющих в выходном каскаде триод или пентод с посторонним возбуждением от генератора, стабилизированного кварцем. Если частота передатчика не стабилизируется с помощью кварца, то частотная модуляция осуществляется прямым способом: в случае самовозбуждающейся схемы с триодом для управления частотой генератора применяется модулятор с реактивной лампой, на которую воздействует выходное напряжение уплотняющей аппаратуры; для управления же частотой клистронного генератора модулирующее напряжение может воздействовать, например, на отражательный электрод клистрона.

Несколько сложнее решается задача частотной модуляции магнетронного генератора. В магнетроне оказывается необходимым применить воздействие модулирующего напряжения на вспомогательный электронный поток, параллельный оси лампы. Изменениями этого электронного потока вызывают изменения частоты генерируемых магнетро-

ном колебаний. Следовательно, частотная модуляция возможна лишь при специальном типе магнетрона.

Амплитудная модуляция генераторов сверхвысоких частот в аппаратуре импульсной связи (или, как иногда говорят, импульсное управление колебаниями) осуществляется путем воздействия видеоимпульсов с выхода управляющего устройства на один из электродов лампы. В триоде возможна модуляция на сетку или на анод лампы. В схе-



Фиг. 81. Схема генератора сантиметровых волн с отражательным клистроном.

мах с магнетронами импульсное управление возможно только в анодной цепи.

Схема импульсного управления колебаниями клистронного генератора приведена на фиг. 81. Самовозбуждающийся генератор на отражательном клистроне передает энергию волноводу через коаксиальный кабель.

Перед излучающим отверстием волновода помещена отражательная пластина, направляющая энергию на поверхность вогнутого металлического зеркала, которое дает направленное излучение.

Колебаниями генератора управляет левая лампа (пентод), названная управителем. При подаче на ее вход положительных видеоимпульсов в сопротивлении R ее анодной цепи возникают импульсы тока, снижащие потенциал катода клистрона, присоединенного к верхнему концу сопротивления. Таким путем только на время длительности видео-

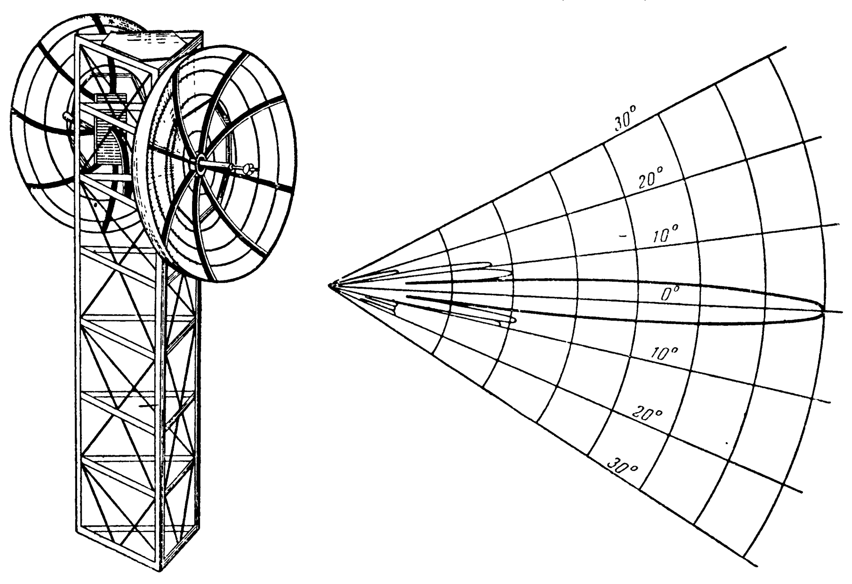
импульса выполняются условия самовозбуждения клистрона, так как потенциал резонатора оказывается выше потенциала катода. Клистрон генерирует радиоимпульсы такой же длительности.

Переходя к краткому рассмотрению антенных систем радиорелейных установок, можно сказать, что на метровых волнах применяются преимущественно антенны типа «волновой канал» (фиг. 82). Антенна такого типа состоит из основного излучателя, одного отражательного вибратора (рефлектора) и нескольких направляющих вибраторов (директоров). В свою очередь излучатель может быть либо одиночным вибратором, либо, как показано на фиг. 82, петлевым (шлейф-вибратор). Антенны этого типа, будучи легкими и дешевыми, обладают углом раствора характеристики направленного действия, обычно исчисляющимся десятками градусов.

Фиг. 82. Антенна типа „волновой канал".

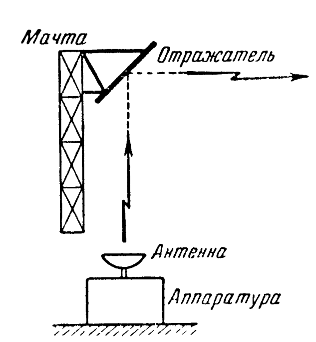
Для установок, работающих на дециметровых и сантиметровых волнах, чаще других типов применяются антенные системы, называемые «параболическими» (по форме их отражателей). На фиг. 83 изображена верхняя часть антенной опоры (мачты) радиорелейной станции с расположенными на ней антеннами для передачи и приема. Излучатель помещается в фокусе «зеркала», имеющего форму параболоида и выполняемого или из металлических листов, или же из металлической сетки. В этих антеннах может быть получен малый раствор диаграммы направленности (в пределах угла, измеряемого лишь несколькими градусами). Острота направленного действия зависит от соотношения между диаметром раствора зеркала и длиной волны. Следовательно, на более коротких волнах острая направленность может быть получена при меньшем размере зеркала. В качестве одного из возможных примеров на фиг. 84 изображена характеристика направленного действия радиорелейной антенны для зеркала с диаметром 1,4 *м* при длине волны около 6 *см*. Очевидно, что при показанном здесь угле раствора главного луча характеристики (6—7°) требуется точная ориентировка на корреспондента и недопустимы колебания опоры от ветра, нарушающие ориентировку.

Передача колебаний от передатчика в антенну или от антенны к приемнику производится по коаксиальному кабелю. Но на сантиметровых волнах потери энергии в кабеле



Фиг. 83. Антенные системы с параболическими отражателями.

Фиг. 84. Пример характеристики направленного действия антенны сантиметровых волн.



Фиг. 85. Применение пассивного отражателя на мачте.

могут оказаться недопустимо большими. В связи с этим иногда сверхвысокочастотные блоки передатчика и приемника располагаются на вершине мачты около антенн, а по кабелю передаются либо видеоимпульсы, либо колебания промежуточной частоты.

Другим решением задачи о направленном излучении и приеме сантиметровых волн являются размещение всей аппаратуры на земле и установка на мачте пассивного отражателя (фиг. 85). Антенна параболического типа, расположенная непосредственно под мачтой, излучает вверх, на поверхность металлического отражателя, плоскость которого уста-

новлена под углом в 45° к горизонтали. Волны, отражаемые от его поверхности, получают горизонтальное направление в сторону корреспондента. Мачта в этом случае уже не несет на себе никаких кабелей. Такая система успешно работает лишь на сантиметровых волнах, дающих возможность получить остро направленное излучение антенны.

15. ОСОБЕННОСТИ РАДИОПРИЕМНИКОВ

В области радиоприемной техники основным направлением применительно к радиорелейным линиям следует считать разработку приемников, обладающих высокой чувствительностью, устойчивостью настройки и обеспечивающих неискаженное воспроизведение сигналов. Рассмотрим кратко пути решения этих главных задач.

Обеспечение высокой реальной чувствительности, т. е. превосходства слабого сигнала над шумами на входе ограничителя, достигается выбором схемы и конструкции, обладающей малым уровнем шумов. Но мощность шумов, создаваемых случайными электронными процессами в цепях и лампах приемника, зависит от полосы пропускания. Следовательно, необходимо стремиться как к выбору цепей и ламп с минимальными шумовыми свойствами, так и к использованию наименьшей допустимой полосы пропускания. Это последнее требование, как было сказано ранее, выполняется путем повышения стабильности настройки. Иначе говоря, реальная чувствительность зависит от устойчивости настройки.

Наиболее важным условием стабильности настройки приемника следует считать устойчивость настройки гетеродина в преобразователе частоты. В схемах приемников радиорелейных станций для гетеродинов используются триоды на метровых и дециметровых волнах и отражательные клистроны на сантиметровых волнах (магнетроны применяются весьма редко). Для стабилизации частоты гетеродинов известны три основных способа: применение кварца, применение объемных резонаторов высокого качества и, наконец, автоматическая подстройка от дискриминатора, связанного с выходом промежуточной частоты.

В приемнике, блок-схема которого была дана на фиг. 13, применено двойное преобразование частоты, причем первый и второй гетеродины представляют собой разные ступени умножения частоты кварцевого генератора. Для дециметровых волн такой путь стабилизации применяется редко, а для сантиметровых вовсе не применяется. Здесь вероятнее при-

менение автоматической подстройки путем изменения, например, величины постоянного напряжения на отражательном электроде клистрона под воздействием выхода дискриминатора.

Входные цепи приемников дециметровых волн выполняются в большинстве случаев на отрезках коаксиальных линий, настраиваемых перемещением короткозамыкателей. На сантиметровых волнах в качестве входных цепей применяются объемные резонаторы или волноводные линии. Каскады усиления по принимаемой частоте на триодах могут встречаться лишь на волнах метрового и дециметрового диапазона. На сантиметровых волнах усиление по принимаемой частоте возможно на лампе бегущей волны. В тех случаях, когда усиление по принимаемой частоте отсутствует, первым каскадом приемника является смеситель, обычно — кристаллический. Приемник без усиления по принимаемой частоте имеет более высокий уровень шумов.

Усиление по промежуточной частоте осуществляется во многих каскадах; для этих каскадов целесообразно применять пентоды с повышенной крутизной характеристики. Следует помнить, что значение промежуточной частоты для приемников дециметровых и сантиметровых волн выбирается в пределах 20—100 *мггц*, т. е. в диапазоне ультракоротких волн, что необходимо для обеспечения широкой полосы пропускания. Как уже было сказано, выбор ширины полосы диктуется способом уплотнения, числом каналов и вероятной неустойчивостью настроек передатчика и приемника.

В приемниках сигналов с частотной модуляцией тракт промежуточной частоты заканчивается ограничителем и частотным детектором, а в приемниках импульсных сигналов — амплитудным детектором с последующим ограничением в каскадах усиления видеоимпульсов.

Таковы самые краткие сведения, характеризующие современную аппаратуру сверхвысоких частот, применяемую в радиорелейных линиях [Л. 9, 10, 11, 12, 13, 14].

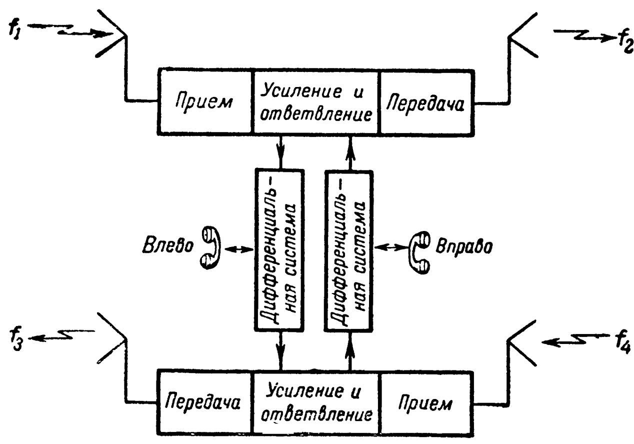
ГЛАВА СЕДЬМАЯ

О СПОСОБАХ РЕТРАНСЛЯЦИИ В РАДИОРЕЛЕЙНОЙ СВЯЗИ

16. ЗАДАЧИ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ СТАНЦИЙ

Задача промежуточной (ретрансляционной) установки радиолинии заключается в приеме приходящих сигналов, их усилении и переизлучении на иной волне. Радиолиния

всегда должна быть дуплексной (исключением может быть только радиолиния для передачи телевизионной программы). Для дуплексной связи промежуточная станция должна обеспечить «прием слева — передачу вправо» и «прием справа — передачу влево». Кроме того, в некоторых промежуточных пунктах многоканальной радиолинии может потребоваться ответвление части каналов; ответвление же одного (служебного) канала обычно практикуется на каждой из промежуточных станций. Переговоры по ответвлен-



Фиг. 86. Состав промежуточной станции.

ным каналам могут вестись из промежуточного пункта как влево, так и вправо. Таким образом, в общем виде состав аппаратуры промежуточной станции изображает блок-схема фиг. 86.

Казалось бы, наиболее простым и естественным способом ретрансляции должно быть прямое усиление на принимаемой несущей частоте. Однако этот способ встречает серьезные практические трудности. Дело в том, что усиление сигнала по мощности в промежуточной станции может требоваться в миллиарды и десятки миллиардов раз. Получить такое усиление на сверхвысоких частотах затруднительно. Кроме того, в случае переизлучения на частоте принимаемого сигнала работа промежуточной станции могла бы нарушиться самовозбуждением схемы вследствие обратной связи между передающей и приемной антеннами.

Переизлучение необходимо осуществлять на частоте, отличной от принимаемой (f_1 и f_2 или же f_3 и f_4 на фиг. 86).

Следовательно, в ретранслирующей станции происходят те или иные преобразования принимаемого сигнала одновременно с его усилением.

Каждый из возможных видов ретрансляции имеет свои особенности, позволяющие рекомендовать его для тех или иных случаев практики. При этом один и тот же вид ретрансляции может оцениваться по-разному для радиолиний с частотной и с импульсной модуляцией.

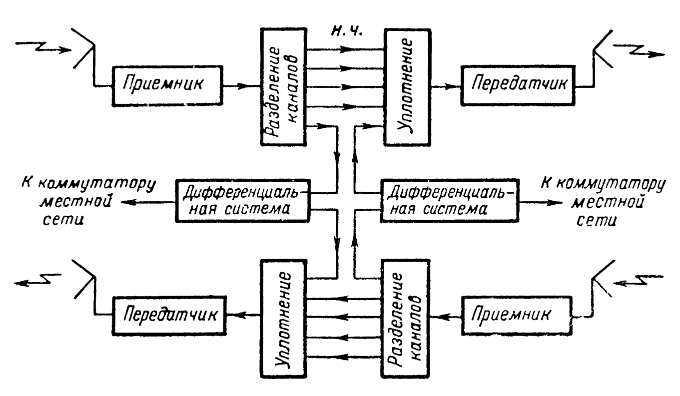
Не стремясь охватить все возможные разновидности систем ретрансляции, остановимся только на основных видах, давая им краткую оценку. В основу классификации положим этапы повторной модуляции (или, как иногда называют, «ремодуляции») передатчика промежуточной установки. Будем различать промежуточные станции с полной ремодуляцией, со вторичной ремодуляцией и без ремодуляции.

В первом случае сигнал доводится в приемнике до первичного спектра, т. е. до звуковых частот в каналах. Первый этап модуляции (звуковыми частотами) производится в аппаратуре уплотнения, спектром же уплотнения модулируется в свою очередь несущее колебание передатчика. Второй вид ретрансляции характеризуется доведением сигнала в приемнике лишь до спектра уплотнения, которым затем модулируется несущее колебание передатчика. Наконец, ретрансляция третьего вида не сопряжена с процессом модуляции; здесь все каскады установки имеют дело только со спектром несущей частоты, которая может подвергаться тем или иным преобразованиям. Рассмотрим эти три вида ретрансляционных систем.

17. РЕТРАНСЛЯЦИЯ С ПОЛНОЙ (ДВУКРАТНОЙ) МОДУЛЯЦИЕЙ

Первая, и притом наиболее сложная, система ретрансляции — это система, в которой приемная схема осуществляет разделение каналов с доведением сигналов до звуковых частот, а затем производится модуляция этими частотами колебаний в каждом канале передающей схемы и, далее, модуляция несущего колебания передатчика спектром уплотнения. Можно сказать, что переход от приемной схемы к передающей происходит на низких частотах, откуда и систему называют также «ретрансляцией по низкой частоте».

В составе такой промежуточной установки должно быть два оконечных комплекта аппаратуры, т. е. два передающих и два приемных устройства со схемами уплотнения, чтобы можно было осуществлять связь в двух направлениях (дуплексную). Принимаемые сигналы после усиления по промежуточной частоте детектируются, разделяются по каналам и путем демодуляции доводятся до первичных (звуковых) частот. Существенным достоинством этой системы является возможность выделить (ответвить) любой номер и любое количество каналов из общего их комплекта («ствола»). Ответвление на местный телефонный комму-



Фиг. 87. Промежуточная станция с ретрансляцией по низкой частоте.

татор выполняется с помощью обычных дифференциальных систем по низкой частоте. Низкочастотные телефонные каналы, как проходящие насквозь, так и вводимые на место ответвленных, осуществляют первичную ремодуляцию в аппаратуре уплотнения передатчика. Многоканальный же сигнал выполняет вторичную ремодуляцию несущего колебания сверхвысокой частоты.

Схематически ретрансляция по низкой частоте изображена на фиг. 87. Следует подчеркнуть, что такая схема в равной мере справедлива как для радиолиний с частотным уплотнением при непрерывном излучении, так и для радиолиний с уплотнением по времени при импульсном излучении.

Ретрансляция этого вида иногда может оказаться удобной, если требуется ответвлять в местную телефонную сеть любой из числа имеющихся каналов. Однако с точки зре-

ния стоимости и качества работы всей радиолинии ретрансляция с полной ремодуляцией нежелательна. Стоимость промежуточной станции окажется излишне высокой в связи со сложностью приемо-передающей и вспомогательной аппаратуры, совершенно не обязательной в составе установки, на которой не требуются ответвления каналов в местную телефонную сеть.

Качество же работы радиолинии снижается в результате большого числа преобразований, которые претерпевает сигнал в промежуточной установке и которые неизбежно связаны с искажениями, накопляющимися по мере увеличения числа пролетов радиолинии. В частности, в каскадах усиления низкой частоты каждого канала возможны нелинейные искажения, а также частотные искажения сигнала и усиление паразитного фона низких частот. Эти виды искажений сигнала сочетаются с искажениями в других каскадах промежуточной станции и нарастают от одной промежуточной установки к другой, снижая качество сигнала.

В связи с этим желательно упростить, удешевить и усовершенствовать по качеству рядовую промежуточную станцию, сохранив возможность ответвления одного (служебного) или нескольких каналов каким-либо простейшим образом. Именно так и возникают другие разновидности ретрансляционных систем, в которых сигнал не доводится до низкочастотного спектра.

18. РЕТРАНСЛЯЦИЯ С ВТОРИЧНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

В принципе этот вид промежуточной радиорелейной станции позволяет исключить из оборудования всю аппаратуру разделения каналов и уплотнения: здесь происходит



Фиг. 88. Промежуточная станция со вторичной модуляцией (одно направление связи).

лишь детектирование принимаемого сигнала, но нет разделения и демодуляции каналов; напряжением уплотненного спектра ремодулируется сверхвысокочастотное колебание радиопередатчика. Блок-схема такой ретрансляции (для одного направления радиолинии) показана на фиг. 88.

Эта система, так же как и предыдущая, применима как для импульсных радиолиний, так и для радиолиний с частотным уплотнением. Но для импульсного и для частотного способов уплотнения результаты детектирования и задачи модуляции существенно различны.

В радиолиниях импульсной связи на выходе детектора получаются видеоимпульсы поочередно всех каналов. Эти импульсы усиливаются в широкополосной схеме видеоусилителя и затем воздействуют на вход импульсного модулятора, управляющего колебаниями сверхвысокой частоты в радиопередатчике. Замечательно то обстоятельство, что в схеме видеоусилителя импульсы могут быть подвергнуты ограничению и формированию. Иначе говоря, форма импульсов сигнала, искаженная при прохождении сигнала через предыдущий тракт линии, может быть исправлена.

Если имеется необходимость ответвить один или несколько каналов в такой промежуточной станции, то обычно применяется способ формирования вспомогательных «импульсов-подставок» (пьедесталов), подача которых в соответственные моменты позволяет выделить «приподнятый» импульс при помощи ограничителя или иным путем.

В этой ретрансляции частота принимаемого сигнала f_1 и частота излучаемого сигнала f_2 между собой никак не связаны. Важно лишь, чтобы при уходе частоты f_1 от установленного значения не происходило ухода сигнала из полосы пропускания усилителя промежуточной частоты, что обеспечивается должным запасом полосы, а иногда и системой автоподстройки по промежуточной частоте. При правильном выборе ширины полосы в усилителе промежуточной частоты и в видеоусилителе могут быть практически исключены переходные помехи между каналами даже при значительном числе ретрансляций.

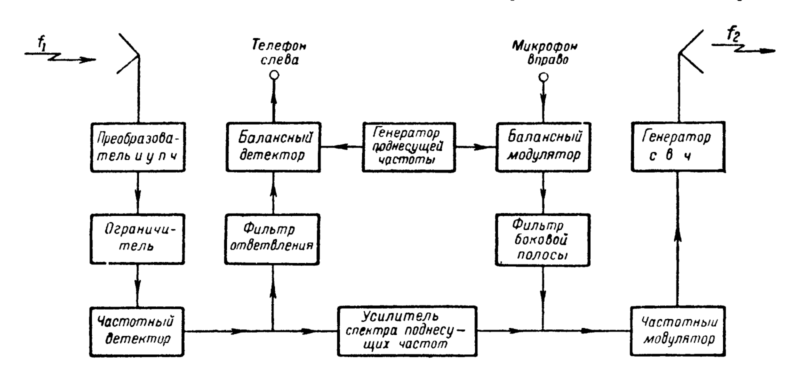
Таким образом, способ ретрансляции со вторичной ремодуляцией вполне пригоден для радиолиний импульсной связи.

Тот же способ ретрансляции принципиально пригоден и для радиолиний с частотным уплотнением. Детектирование сигнала промежуточной частоты производится в этом случае при помощи частотного детектора (дискриминатора), на выходе которого получается многоканальный спектр однополосной модуляции поднесущих частот.

При этом способе ретрансляции возможно выделение одного или нескольких каналов с помощью фильтров для поднесущих частот. На фиг. 89 изображен состав аппара-

туры для одного направления связи при ответвлений одного канала слева и включении на его место новой передачи вправо. Канал слева выделяется фильтром ответвления, в полосе прозрачности которого размещается спектр этого канала. После фильтра включен балансный детектор, в схеме которого одновременно с сигналом действует напряжение генератора, восстанавливающего поднесущую частоту. Полученный сигнал звуковой частоты воспроизводится в телефоне местного абонента.

Второй абонент может вести разговор по линии вправо, для чего микрофон подключен ко входу балансного модуля-



Фиг. 89. Ретрансляция со вторичной модуляцией и ответвлением канала при уплотнении по частоте.

тора для поднесущего колебания, создаваемого тем же местным генератором. Далее имеется фильтр нужной боковой полосы, с выхода которого однополосный спектр местного канала занимает соответствующий участок в общем спектре уплотнения и участвует в модуляции передатчика вместе с другими каналами.

Для того чтобы ответвляемый канал «освободил место» в общем спектре для вводимого канала, необходимо в усилителе спектра поднесущих частот предусмотреть подавление ответвляемой полосы частот при помощи фильтра поглощения либо иным путем. Заметим, что при необходимости ответвлять значительную часть каналов или даже все каналы проще создать промежуточную станцию с двойной ремодуляцией.

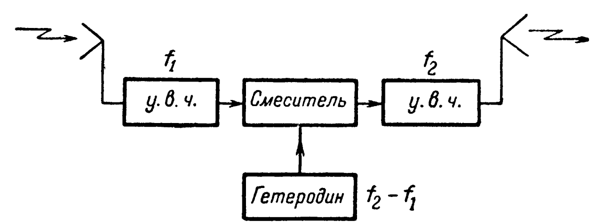
Ретрансляция по поднесущим частотам, как и ретрансляция по низкой частоте, для систем с частотным уплотнением невыгодна вследствие сложности задачи устранения

переходных помех между каналами. Переходные помехи возникают в общем спектре однополосных амплитудно-модулированных каналов при их прохождении через нелинейные элементы. Наиболее вероятное образование переходных помех в частотном детекторе приемника и в частотном модуляторе передатчика ретранслирующей установки. К характеристикам этих каскадов приходится предъявлять очень жесткие требования, выполнение которых может усложнить аппаратуру.

Вот почему ретрансляция с вторичной модуляцией для систем с частотным уплотнением не является наилучшей, и опубликовано много работ, в которых описываются и исследуются более выгодные способы ретрансляции этих систем. Большинство усовершенствований предложено в направлении разработки промежуточных станций без ремодуляции.

19. РЕТРАНСЛЯЦИИ ГЕТЕРОДИННОГО ТИПА

Как указывалось выше, самой простой установкой ретрансляции могла бы явиться промежуточная станция с прямым усилением на принимаемой частоте. Современная радиотехника располагает возможностью значительных усилений на сверхвысокой частоте, например, с помощью ламп



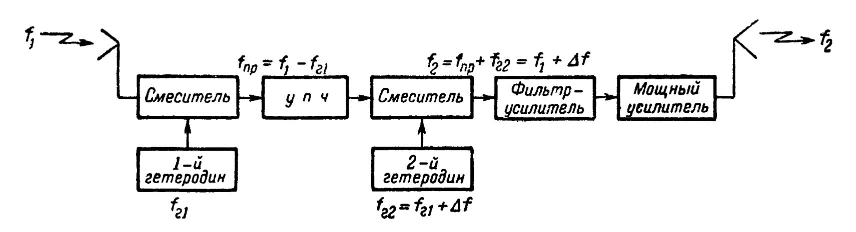
Фиг. 90. Простейшая гетеродинная ретрансляция.

бегущей волны. Но в случае прямой ретрансляции передатчик излучал бы колебания той же частоты, на какую настроен приемник, и оградить приемную антенну от воздействия излучаемых колебаний было бы весьма трудно. А такое воздействие явилось бы причиной самовозбуждения, приводящего к нарушению приема.

Первым шагом усовершенствования установки является применение схемы с однократным преобразованием частоты (фиг. 90). В этой схеме принимаемая частота f_1 преобразуется в излучаемую частоту f_2 с помощью смесителя и гетеродина, вследствие чего и самый тип ретрансляции на-

зывают гетеродинным. Если сдвиг частоты $\Delta f = f_1 - f_2$ может быть небольшим в сравнении с абсолютными значениями f_1 и f_2, то частота гетеродина также окажется невысокой, и задача стабилизации частоты гетеродина не будет сложной. Несколько осложняется задача ответвления каналов; эта задача может быть решена путем частотной модуляции гетеродина. Но самым главным условием успешного осуществления гетеродинной ретрансляции с однократным преобразованием частоты нужно считать наличие возможностей достаточного усиления на сверхвысоких частотах.

Если возможность усиления на сверхвысоких частотах отсутствует, приходится применять усиление на более низких (промежуточных) частотах, и тогда схема ретрансля-

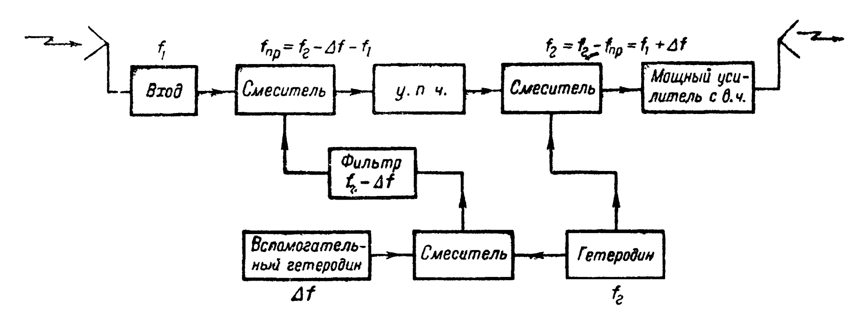


Фиг. 91. Ретрансляция гетеродинного типа с двойным преобразованием частоты.

ции содержит многократное преобразование частоты. На фиг. 91 представлена блок-схема устройства с двойным преобразованием частоты. Следует отметить, что первое преобразование должно создать достаточно низкую промежуточную частоту, удобную для многокаскадного усиления, а второе преобразование должно восстановить сверхвысокую частоту, «сдвинутую» по отношению к принимаемой на относительно небольшую величину Δf. Для этого с первого преобразователя снимается разностная частота, а со второго — суммарная; частоты гетеродинов отличаются между собой на Δf.

Недостатком схемы с двойным преобразованием частоты нужно считать то обстоятельство, что уход частоты одного из гетеродинов вызывает равное изменение частоты излучаемого сигнала. Из этих соображений более выгодными считаются схемы, в которых имеются более сложные преобразования частоты. Один из возможных вариантов такой схемы показан на фиг. 92.

Здесь также производится двойное преобразование частоты, но гетеродинирование является более совершенным, чем в предыдущей схеме. Основной гетеродин с частотой $f_г$ воздействует на смеситель второго преобразования; тот же гетеродин воздействует и на смеситель первого преобразования, но не непосредственно, а через вспомогательную „схему сдвига частоты". Эта схема содержит дополнительный гетеродин с частотой, равной требуемому сдвигу Δf; затем в ней имеется смеситель гетеродинирования, на который воздействуют основной и дополнительный гетеродины, и фильтр разностной частоты $f_г - \Delta f$. Именно эта последняя частота и является гетеродинирующей для первого преобразования основного тракта.



Фиг. 92. Ретрансляция по промежуточной частоте с общим и вспомогательным гетеродинами.

После первого преобразования в качестве промежуточной используется частота $f_{пр} = f_г - \Delta f - f_1$, а после второго преобразования — сверхвысокая частота $f_2 = f_г - f_{пр} = f_1 + \Delta f$. Таким путем устранено влияние неустойчивости частоты гетеродина $f_г$ на частоту излучаемого сигнала и достигнут необходимый сдвиг Δf. Что касается вспомогательного гетеродина, то его стабилизация не вызывает трудностей, так как частота Δf относительно низкая.

Схемы без ремодуляции имеют большие достоинства благодаря своей простоте и отсутствию многих искажающих факторов. Это особенно справедливо по отношению к радиолиниям с частотным уплотнением, так как отсутствие в таких ретрансляциях общего частотного модулятора позволяет иметь малый уровень переходных помех.

Для того чтобы высказать суждение о перспективности того или иного способа ретрансляции, необходимо всесто-

ронне учитывать общие свойства той радиолинии, для которой выбирается промежуточная установка. Как уже указывалось, здесь должны учитываться: система модуляции (импульсная или однополосная), число каналов, назначение радиолинии, требования к ответвлению каналов и другие частные соображения.

Так, для большинства подвижных радиолиний, описанных на страницах журналов, характерно применение в каждой установке двух полных приемо-передатчиков, т. е. ретрансляция с двойной ремодуляцией. Это диктовалось соображениями взаимозаменяемости установок, т. е. возможности применения каждой из них как в роли оконечной, так и промежуточной.

Для стационарных радиолиний с импульсной модуляцией вполне перспективны ретрансляции со вторичной ремодуляцией (по видеосигналам), а для стационарных радиолиний с уплотнением по частоте наибольшего внимания заслуживают ретрансляции гетеродинного типа.

В заключение необходимо сказать, что перечисленные выше способы ретрансляций не исчерпывают всех возможных решений, и имеется широкий простор для дальнейших научно-технических изысканий в этой области.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги краткого обзора элементов и систем радиорелейной связи, желательно подчеркнуть перспективные направления в этой отрасли техники.

При оценке систем уплотнения и радиочастотной модуляции основным критерием является качество каналов связи. Следует учесть, что даже при наличии прямой видимости между антеннами соседних станций напряженность поля в пункте приема не остается постоянной. Колебания напряженности поля обусловлены тропосферными явлениями и оказываются значительными в летние месяцы, когда напряженность поля может уменьшаться в 10 раз и более по сравнению с нормальным значением. Это является одной из причин выбора таких видов модуляции, которые способны обеспечить в приемнике улучшение отношения сигнала к шуму. К этим видам модуляции мы относим системы ОМ—ЧМ, ИАМ—ЧМ, ИФМ—АМ и, наконец, ИКМ—АМ.

Если речь идет о радиолиниях со значительным числом каналов, то справедливо считать все эти системы обеспе-

чивающими подавление шумов. Следовательно, все они могут быть названы перспективными. Заметим, что в системе ИАМ—ЧМ возможно применить сжатие амплитуд в передатчике компрессором и обратное восстановление их соотношений в приемнике, как это применяется в ИКМ (см. фиг. 70 и 80); этим повышается отношение мощности сигнала к мощности шума и уменьшаются переходные помехи.

Выбор системы уплотнения и модуляции из упомянутых выше четырех комбинаций производится на основе дополнительных соображений, таких, как число каналов, возможность применения типовой уплотняющей аппаратуры, необходимость в ответвлении каналов, протяженность радиолинии и др.

Относительно выбора рабочего диапазона волн радиорелейной линии следует еще раз указать, что с увеличением числа каналов уплотнения целесообразен переход на более короткие волны. Здесь имеются широкие возможности выбора, ибо общий диапазон, который может быть использован для радиорелейной связи, простирается, грубо говоря, от 30 до 10 000 *мггц*.

В заключение необходимо еще раз сопоставить многоканальные радиорелейные линии с многоканальными линиями из специального кабеля. Можно сказать, что при одинаковом числе «канало-километров» стоимость радиорелейной линии не будет превышать стоимости такой кабельной линии. Радиорелейная линия строится в значительно более короткий срок, чем многоканальная кабельная, так как прокладка последней требует очень длительных и трудоемких работ. На сооружение радиолинии затрачивается значительно меньше цветных металлов. Прокладка кабеля через водные преграды или по сильно пересеченной местности может оказаться очень сложной, а иногда и невыполнимой.

Если качество каналов радиорелейной линии оказывается равноценным качеству каналов кабельной линии, то целесообразность развития радиорелейной связи становится вполне очевидной. Вот почему наша партия в решениях XIX съезда указала на необходимость внедрения радиорелейной связи. Разумеется, радиорелейная связь не исключает, а дополняет другие виды связи, сочетаясь с ними в единую систему связи нашей страны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Е. Плешков и А. М. Зингеренко, Техника дальней связи, Воениздат, 1952.
2. С. В. Новаковский и Г. П. Самойлов, Техника частотной модуляции в радиовещании, Госэнергоиздат, 1952.
3. А. А. Куликовский, Частотная модуляция в радиовещании и радиосвязи, Госэнергоиздат, 1947.
4. И. С. Гоноровский, Частотная модуляция и ее применение, Связьиздат, 1948.
5. В. И. Сифоров, Радиоприемные устройства, Воениздат, 1954.
6. Л. А Меерович и Л. Г. Зеличенко, Импульсная техника, Изд. „Советское радио", 1953.
7. Н. Н. Крылов, Импульсная техника, Связьиздат, 1950.
8. Я. С. Ицхоки, Импульсная техника, Изд. „Советское радио", 1949.
9. С. В. Бородич, Многоканальные радиорелейные линии связи, Связьиздат, 1953.
10. А. П. Сиверс, Радиолокационные приемники, Изд. „Советское радио", 1952.
11. Н. М. Изюмов, Импульсные системы многоканальной связи, Воениздат, 1947.
12. П. И. Евдокимов, Методы и системы многоканальной радиосвязи, Госэнергоиздат, 1952.
13. В. Л. Крейцер, Видеоусилители, Изд „Советское радио", 1952.
14. Н. М. Изюмов, Курс радиотехники, Воениздат, 1950.

СОДЕРЖАНИЕ

Цена 2 р. 50 к.